



TESIS- MN142532

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH SERBUK GERGAJI PADA KONTRUKSI PELAT DATAR KAPAL

MUHAMMAD SIDIK PURWOKO
04111650030008

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2018



TESIS- MN142532

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH SERBUK GERGAJI PADA KONTRUKSI PELAT DATAR KAPAL

MUHAMMAD SIDIK PURWOKO
04111650030008

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - MN142532

STATIC AND DYNAMIC ANALYSES OF SANDWICH PANEL WITH CORE MATERIAL MADE FROM WOOD SAWDUST FOR SHIP STRUCTURE

MUHAMMAD SIDIK PURWOKO
04111650030008

SUPERVISOR

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

MAGISTER PROGRAM
MARINE PRODUCTION AND MATERIAL ENGINEERING
DEPARTEMEN OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

MUHAMMAD SIDIK PURWOKO

NRP 04111650030008

Tanggal Ujian : 20 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1 012

2. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620328 198803 1 001

3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001

4. Aries Sulisetyono, S.T., M.A.Sc., Ph.D.
NIP. 19710320 199512 1 002

5. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 78

Pelaksana Tugas Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,

Prof. Ir. Arif Djunaidy, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19581005 198603 1 003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH SERBUK GERGAJI PADA KONTRUKSI PELAT DATAR KAPAL”**. Adapun maksud penulisan tesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan thesis ini banyak pihak yang telah membantu, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D dan Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng.,Ph.D sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D, Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc., Aries Sulisetyono, ST., MASC, Ph.D, selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
4. Seluruh Dosen Program Pasca Sarjana Teknik Perkapalan yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
5. Ibu, Ayah, Kakak dan Adik yang telah memberikan dukungan, kasih sayang dan doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.
6. Tim peneliti *sandwich panel*, yang telah memberikan semangat, masukan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
7. Letkol Laut (KH) Drs. Imbalo P. Tambunan, Mayor Laut (T) Pompy Pratisna, ST., MT dan seluruh staf Laboratorium Industri Kimia dan Material, KOARMATIM TNI AL Surabaya, yang telah mendukung pengujian laboratorium penelitian ini.
8. Rekan-rekan Pasca Sarjana Teknik Perkapalan 2016, yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS *SANDWICH* PANEL BERBAHAN *CORE* MATERIAL LIMBAH SERBUK GERGAJI PADA KONTRUKSI PELAT DATAR KAPAL

Nama Mahasiswa : Muhammad Sidik Purwoko
NRP : 4116203008
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Perkembangan material saat ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat, para pelaku industri di tuntut untuk mengembangkan material inovatif untuk digunakan pada bentuk kontruksi. Pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan material *core sandwich* dengan kombinasi pelat baja. Materi inti yang diteliti terbuat dari resin epoksi dan bahan limbah - serbuk kayu Sengon (*Albizia chinensis*) sebagai bahan pengisi.. Serbuk kayu sebelum dibuat sebagai bahan core diberi peroses terlebih dahulu diberi teretment yaitu berupa di oven selama 24 jam dan di saring dengan mesh #50. Komposisi material inti yang diteliti adalah 0%, 5%, 10%, 13%, 15% dan 20% serbuk kayu sengon. Identifikasi dilakukan dengan metode eksperimen yang meliputi pengujian komposisi kimia, densitas, kekuatan tarik, kekerasan dan kekuatan tekan material untuk mendapatkan nilai persyaratan yang diberikan oleh LR. Dari hasil uji core, komposisi core terbaik akan di gunakan struktur sandwich. Uji lentur pada struktur sandwich dilakukan untuk mendapatkan kekuatan lenturnya. Selain itu, untuk menyelidiki sifat dinamis dari struktur sandwich, uji getaran dilakukan. Simulasi sandwich panel pada struktur kapal juga dilakukan untuk mempelajari pengurangan berat kapal ketika struktur sandwich diterapkan untuk pembangunan kapal.

Berdasarkan dari hasil penelitian memenuhi standar LR untuk core material dengan kadar serbuk kayu kurang dari 15% . dari hasil pengujian lentur *sandwich panel* core 10 % didapatkan nilai sebesar 254,38 Mpa sedangkan untuk core 13% sebesar 241,44 Mpa. Frekuensi natural dari struktur sandwich dengan core 10% dan 13% serbuk kayu Sengon masing-masing 515 Hz dan 497 Hz. Uji getaran terhadap struktur balok *sandwich* sederhana menunjukkan nilai perubahan frekuensi 7%. Analisa aplikasi *sandwich panel* pada konstruksi pelat datar kapal menghasilkan perubahan berat konstruksi sebesar -8.82 % dengan perubahan tebal pada plat *tank top*.

Kata Kunci : limbah kayu sengon, material inti sandwich, konstruksi kapal, uji statis dan getaran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STATIC AND DYNAMIC ANALYSES OF SANDWICH PANEL WITH CORE MATERIAL MADE FROM WOOD SAWDUST FOR SHIP STRUCTURE

Nama Mahasiswa : Muhammad Sidik Purwoko
NRP : 4116203008
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

The development of advanced material has made rapid progress. Industry is demanding to develop innovative materials for use in ship construction. This research was conducted to obtain core material of sandwich structure with steel face sheets. Core material under study was made from epoxy resin and waste material-sawdust of Sengon wood (*Albizia chinensis*)- as the filler material. Before being made as core material, wood sawdust was treated by drying in the oven for 24 hours and then sieving with mesh # 50. The core materials were composed of epoxy resin and 0%, 5%, 10%, 13%, 15% and 20% of total core weight of sengon wood sawdust powder. Core material was identified by performing chemical composition, density, tensile strength, hardness, and compressive strength tests to ensure that the core met LR standard. From the results of core tests the compositions of core were selected for sandwich structure's core. Bending tests on the sandwich structures were conducted to obtain their bending strengths. Moreover, to investigate the dynamic properties of the sandwich structures, vibration tests were performed. Simulation of sandwich panel application on ship structure was also conducted to study the ship weight reduction when the sandwich structure was applied to ship construction.

The results of the study showed that cores that contained wood powder less than 15% were met LR standard. Sandwich plate structure with core composed of 10% and 13% Sengon wood sawdust powder were made for further tests. Bending strengths of sandwich structures with cores containing 10% and 13% Sengon wood powder were 254.38 MPa and 241.44 MPa. The natural frequencies of sandwich structure with core of 10% and 13% Sengon wood powder were 515 Hz and 497 Hz respectively. There was about 7% change in natural frequency when a defect was introduced on the sandwich core. Analysis of sandwich panel applications on shipboard plate construction resulted in a change in construction weight of -8.82% with a thick change in the tank top plate.

Keywords: sengon wood waste, sandwich core material, ship construction, static and vibration tests.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Hipotesis	3
1.6. Batasan masaalah	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Matrial SPS (Sandwich Plate System)	5
2.2. Klasifikasi Struktur Sandwich Plate System	9
2.3. Material epoxy resin	10
2.4. Material Komposit (serbuk kayu)	11
2.5. Aplikasi <i>sandwich panel</i> pada konstruksi kapal.....	13
2.6. Penentuan Ketebalan Sandwich Panel	15
2.7. Standarisasi Pengujian Matrial	18
2.7.1 Pengujian densitas	19
2.7.2 Pengujian Tarik	20

2.7.3	Pengujian Kekerasan.....	22
2.7.4	Pengujian Tekan (Compression Test).....	24
2.7.5	Pengujian lentur.	25
2.8	Pengujian getaran.....	27
2.8.1	Modal Analysis Experiment	29
2.8.2.	Fourier Transform.....	29
2.8.3	Frekuensi Natural.....	31
2.9.	Metode Elemen Hingga	32
BAB III METODELOGI PENELITIAN		37
3.1.	Tahapan penelitian	37
3.2.	Metode Identifikasi <i>Core Material</i>	39
3.2.1.	Pengujian densitas core material.....	42
3.2.2	Pengujian Tarik.....	43
3.2.3	Pengujian kekerasan	44
3.2.4.	Pengujian Tekan (Compression Test).....	45
3.3.	Metode pembuatan sandwich panel	46
3.3.1.	Identifikasi material <i>faceplate</i>	47
3.3.2.	Persiapan material <i>faceplate</i>	47
3.3.3	Kalkulasi ketebalan <i>sandwich panel</i>	48
3.3.4	Persiapan Molded <i>sandwich panel</i>	49
3.3.5.	Pembukaan cetakan.....	51
3.4.	Metode identifikasi <i>sandwich panel</i>	51
3.4.1.	Pengujian densitas <i>sandwich panel</i>	51
3.4.2.	Pengujian bending sandwich panel.....	52
3.5.	Pemilihan jenis core matrial <i>Sandwich Panel</i>	53
3.6.	Pemodelan menggunakan <i>software</i> finite element	53

3.7. Pengujian Getaran Sandwich Panel.....	54
3.7.1 Pengujian Getaran Panel Sandwich.....	55
3.7.2 Pembuatan Cacat pada <i>Core</i>	57
3.7.3 Proses Pengolahan Data Uji Getaran.....	57
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1. Analisa Hasil Identifikasi Core Sandwich Panel.....	59
4.1.1 Identifikasi Komposisi Core Material	59
4.1.2. Identifikasi Densitas <i>Core Material</i>	64
4.1.3. Pengujian Tarik Core Material	65
4.1.4 Pengujian Kekerasan	70
4.1.5. Pengujian Tekan (Compression Test)	71
4.1.6 Hasil Identifikasi Core <i>Sandwich Panel</i>	71
4.2 Analisa Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	73
4.2.1 Densitas Sandwich Panel.....	73
4.2.2 Pengujian Bending <i>Sandwich Panel</i>	74
4.3. Pemodelan struktur <i>Sandwich Panel</i>	75
4.4. Analisa Berat Kontruksi	78
4.5. Analisa Getaran	80
4.5.1 Pemodelan Sandwich Panel.....	80
4.5.2. Pengujain getaran dengan eksperimen.....	82
4.5.3 Hasil dan Analisa Damping Ratio Sandwich Panel	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1. Kesimpulan.....	87
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi "efek sandwich". (<i>Hexcel Composites 2000</i>).	5
Gambar 2. 2 (a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional, (b) Konstruksi kapal <i>sandwich panel</i> (Utomo, 2016)	6
Gambar 2. 3 Contoh konfigurasi sandwich (dari Zenkert 1995)	7
Gambar 2. 4 Epoxy Resin	11
Gambar 2. 5 Serbuk kayu sengon	13
Gambar 2. 6 Definisi ketebalan <i>sandwich plate</i>	16
Gambar 2. 7 Spesimen uji tarik.....	21
Gambar 2. 8 Bentuk identer pada Shore D	23
Gambar 2. 9 <i>Compression tool</i>	25
Gambar 2. 10 Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda(<i>ASTM C 393, Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions</i>)	26
Gambar 2. 11 Siklus getaran	28
Gambar 2. 12 Hubungan Data Time Domain dengan Frequency Domain	30
Gambar 2. 13 Penentuan estimasi Redaman, <i>Half power bandwidth</i>	32
Gambar 2. 14 (a) Pemberian Beban pada Suatu Plat; (b) Model Elemen Hingga	34
Gambar 3. 1 Diagram alir	37
Gambar 3. 2 Penghalusan serbuk kayu dengan menggunakan belender	39
Gambar 3. 3 Pengeringan dengan menggunakan oven	40
Gambar 3. 4 Penimbangan setelah pengeringan	40
Gambar 3. 5 Proses pengayakan dengan berbagai ukuran mesh	41
Gambar 3. 6 Pengujian densitas <i>core material</i>	42
Gambar 3. 7 Pengujian tarik <i>core material</i>	43
Gambar 3. 8 Pengujian kekerasan <i>core material</i>	45
Gambar 3. 9 Pengujian Tekan <i>core material</i>	46
Gambar 3. 10 Proses kabras permukaan plate	47
Gambar 3. 11 General Arrangment	49
Gambar 3. 12 Persiapan pembuatan <i>Sandwich Panel</i>	49

Gambar 3. 13 Proses pembuatan <i>core material sandwich panel</i>	50
Gambar 3. 14 Pengujian densitas material sandwich panel.....	51
Gambar 3. 15 Pengujian lentur pada material sandwich panel.....	52
Gambar 3. 16 Ukuran model uji	53
Gambar 3. 17 Model Elemet <i>Sandwich panel</i>	53
Gambar 3. 18 Dudukan untuk pengujian getaran	54
Gambar 3. 19 peralatan uji getaran.....	55
Gambar 3. 20 Set up penelitian yang digunakan dalam pengujian	55
Gambar 3. 21 Ilustrasi pengambilan data	56
Gambar 3. 22 Proses membuat cacat pada <i>core Sandwich panel</i>	57
Gambar 3. 23 Bagan pengolahan data.	58
Gambar 4. 1 (a) Berat sebelum pengeringan, (b) Berat setelah pengeringan	60
Gambar 4. 2 Partikel yang tertinggal dalam ayakan (a) mesh 30, (b) mesh 50, (c) mesh 100.....	61
Gambar 4. 3 Grafik persentase <i>passing</i> partikel serbuk kayu sengon	61
Gambar 4. 4 Spektrum hasil pengujian XRF.....	62
Gambar 4. 5 Bentuk spesimen uji setelah pengujian Tarik	66
Gambar 4. 6 Tensile strenght of core sandwich panel.....	66
Gambar 4. 7 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada <i>core material</i>	67
Gambar 4. 8 Grafik Modulus Elastisitas <i>core material</i>	68
Gambar 4. 9 Grafik Elongation at break <i>core material</i>	68
Gambar 4. 10 Grafik uji kekerasn <i>core material</i>	70
Gambar 4. 11 Grafik uji tekan <i>core material</i>	71
Gambar 4. 12 Bentuk spesimen uji bending.....	74
Gambar 4. 13 Grafik hubungan tegangan lentur dengan defleksi <i>sandwich panel</i>	75
Gambar 4. 14 konstruksi konvensional	76
Gambar 4. 15 Konstruksi <i>sandwich panel</i>	77
Gambar 4. 16 Perbandingan berat konstruksi antara <i>Sandwich Panel</i> dengan sistem konstruksi konvensional	79
Gambar 4. 17 (a) kondisi utuh, (b) kondisi cacat Model getaran <i>finite element</i> ..	81

Gambar 4. 18 Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> , (a) <i>core</i> 10 % , (b) <i>core</i> 13 %	83
Gambar 4. 19 Hasil pengujian getaran <i>sandwich panel</i> , (a) <i>core</i> 10 % , (b) <i>core</i> 13 %	85

“Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil perhitungan berat konstruksi kapal (Utomo, 2016)	6
Tabel 2. 2 Jenis sandwich structure.....	8
Tabel 2. 3 Struktur sandwich logam	9
Tabel 2. 4 Hasil analisa tegangan – beban tegangan lokal.....	14
Tabel 2. 5 Perbandingan berat.....	15
Tabel 2. 6 Ketebalan minimum.....	16
Tabel 2. 7 Thickness allowance	17
Tabel 2. 8 Standarisasi pengujian dan kriteria <i>sandwich panel</i>	19
Tabel 2. 9 Dimensi identer Shore D.....	23
Tabel 2. 10 Nilai numerik β_{nl2} untuk keadaan ujung tertentu (Thomson, 1980)	31
Tabel 3. 1 Persentase Variasi komposisi Core.....	42
Tabel 3. 2 <i>Principle dimension</i> kapal.....	48
Tabel 4. 1 Komposisi kimia serbuk kayu sengon.....	63
Tabel 4. 2 Komposisi core Material.....	64
Tabel 4. 3 Hasil pengujian densitas <i>core material</i>	65
Tabel 4. 4 Hasil uji tarik <i>core material sandwich</i>	69
Tabel 4. 5 Identifikasi <i>Core Sandwich</i> berdasarkan kriteria LR.....	72
Tabel 4. 6 Hasil densitas <i>sandwich panel</i>	73
Tabel 4. 7 Hasil uji bending	74
Tabel 4. 8 Tegangan maksimum pada tiap konstruksi.....	77
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan berat konstruksi model	78
Tabel 4. 10 Hasil <i>Modal Analysis</i> pada <i>Sandwich Panel</i>	81
Tabel 4. 11 Perbandingan Analisa dan Experimen pada <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Utuh.....	84
Tabel 4. 12 Perbandingan Analisa dan Experimen pada <i>Sandwich Panel</i> Kondisi cacat.....	85
Tabel 4. 13 Hasil damping ratio	86

“Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Perkembangan material saat ini semakin maju dan pesat, dengan adanya bermacam-macam material inovatif yang di kembangkan dan digunakan pada berbagai macam bentuk konstruksi. Inovasi dalam artian telah melahirkan banyak kreasi sintetis yang lebih kuat, lebih ringan dan lebih ramah lingkungan dibandingkan material yang biasa kita gunakan, kedepan desain kapal mungkin tidak lagi terlihat sama seperti kondisi saat ini.

Beberapa material maju yang memiliki karakteristik yang baik telah memberikan banyak keuntungan, salah satunya adalah dengan hadirnya pengembangan material SPS (*Sandwich Plate System*) yang merupakan material inovatif dalam bentuk lapisan yang terdiri dari tiga lapisan material yang di jadikan satu.

Intelligent Engginering (2015) telah melakukan pengujian karakteristik dari matrial SPS sebagai bahan untuk konstruksi kapal dan juga bangunan sipil, seperti pada pelat jembatan. SPS jauh lebih sederhana daripada pelat baja yang kaku dan jauh lebih ringan dan lebih cepat untuk dipasang daripada beton bertulang. Utomo (2016), Pemakaian material *sandwich plate system (SPS)* pada konstruksi kapal sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi berat pada konstruksi kapal sebesar 13,05% pada plat *inner bottom*.

Serbuk gergaji atau serbuk kayu merupakan limbah industri penggergajian kayu. Selama ini limbah serbuk kayu sengan banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat.



Gambar 1. 1 limbah serbuk gergaji kayu sengon
(www.cendananews.com)

Bedasarkan dari hal tersebut, dalam penelitain ini akan dilakukan penelitain material *sandwich panel* dengan inti core serbuk kayu sengon dan epoxy resin yang memenuhi standar LR dan uji struktur balok *sandwich* untuk mendapatkan nilai statik dan dianamis.

1.2. Rumusan Masalah

Bedasarkan pokok permasalahan yang diuraikan diatas, maka pokok permasalahan yang akan di selsaikan adalah:

1. Apakah serbuk kayu sengon sebagai core material memenuhi standar LR?.
2. Bagaimana hasil struktur balok sandwich terhadap beban statik dan uji getaran?
3. Bagaimana cara mengapilikasikan sandwich material pada struktur kapal dengan silumasi metode finite element?
4. Bagaimana pengaruh reduksi berat material *sandwich panel* pada konstruksi kapal?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari material yang inovatif dengan kombinasi material baja dengan material lain seperti limbah serbuk kayu, yang akan di manfaatkan pada konstruksi kapal.

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menjadikan serbuk kayu sengon sebagai bahan *core* yang akan di gunakan dalam pembuatan konsturuksi kapal.
2. Mengetahui kekuatan dari material *sandwich panel* yang akan di aplikasikan dalam konetruksi kapal.
3. Mengetahui sifat dinamsi struktur *sandwich* .
4. Mengetahui perbandingan berat konstruksi dari penggunaan material baja dengan material *sandwich panel*.

1.4. Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah”

1. Sebagai bahan setudi lanjut tentang penggunaan material komposit *sandwich panel*.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan material berbahan limbah serbuk kayu.

1.5. Hipotesis

Berhubungan dengan tujuan atau permasalahan yang di angkat dalam penelitian ini diharapkan material limbah seperti serbuk kayu dapat memenuhi Setandar *Class* dan bisa mengurangi berat LWT pada kapal sehingga akan menambah jumlah muatan pada kapal.

1.6. Batasan masaalah

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut :



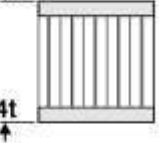
1. Pengaplikasian penggunaan *sandwich panel* hanya untuk bagian struktur palat datar.
2. Perhitungan perbandingan berat kontruksi hanya pada bagian *parallel middle body* pada plat *tank top*.
3. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian secara ekonomis pada penggunaan material *Sandwich Panel* pada kapal.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Matrial SPS (Sandwich Plate System)

Struktur *sandwich* adalah bahan fabrikasi yang terdiri dari dua matrial tipis dan kaku yang terhubung ke kedua sisi, bahan atau struktur inti dengan kepadatan rendah. Jarak antara kedua *facing* atau plat di isi dengan inti *core* yang ringan jadi secara tidak langsung mengurangi berat dari matrial. Ini yang disebut dengan "efek sandwich" diilustrasikan pada gambar 2.1.

	Solid Material	Core Thickness t	Core Thickness $3t$
			
Stiffness	1.0	7.0	37.0
Flexural Strength	1.0	3.5	9.2
Weight	1.0	1.03	1.06

Gambar 2. 1 Ilustrasi "efek sandwich" untuk konstruksi.

(Hexcel Composites 2000).

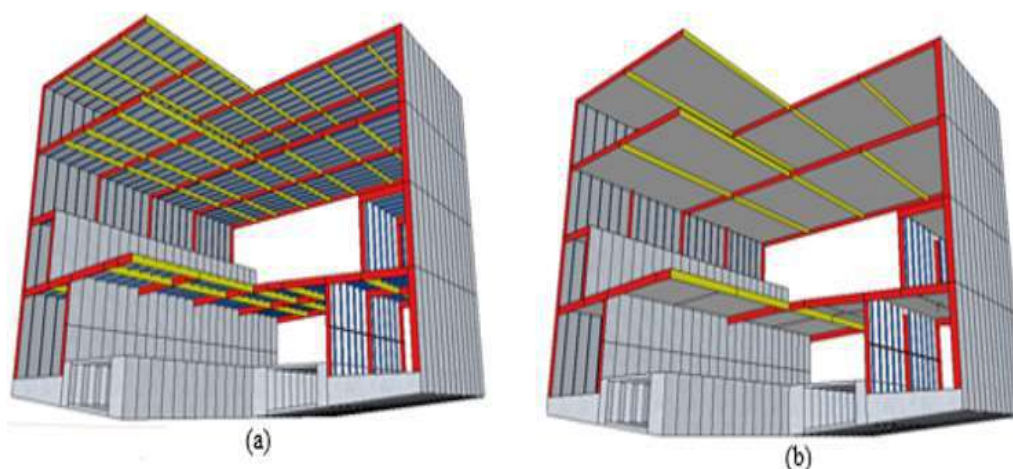
Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh *Utomo* (2016), dilakukan analisa perubahan berat konstruksi pada kapal *ferry roro* di bagian *parallel middle body*. Dengan diaplikasikannya *sandwich panel* pada kapal, bentuk konstruksi kapal mengalami penyederhanaan. Penyederhanaan yang dimaksud adalah dihilangkannya *stiffner* dari desain kapal tersebut. Namun, perubahan ini tidak mengurangi kekuatan dari struktur tersebut.

Tabel 2. 1 Hasil perhitungan berat konstruksi kapal (Utomo, 2016)

Bagian block	Berat konstruksi (Ton)		(%)
	Steel	<i>Sandwich panel</i>	
Block. 01 (No. Gading 63-75)	89,11	88,66	-0,50
Block. 02 (No. Gading 51-62)	83,89	82,29	-1,94
Block. 03 (No. Gading 39-50)	73,35	71,08	-3,20
Block. 04 (No. Gading 27-38)	73,35	71,08	-3,20
Block. 05 (No. Gading 16-26)	67,64	64,88	-4,25
Total	387,34	377,99	-13,08

Sumber : Utomo, (2016)

Tabel 2.1. menunjukkan perubahan berat konstruksi terjadi pada setiap *block* kapal, namun memiliki perbedaan pada setiap besaran berat yang berkurang. Total pengurangan berat konstruksi yang terjadi sebesar 13,08%.



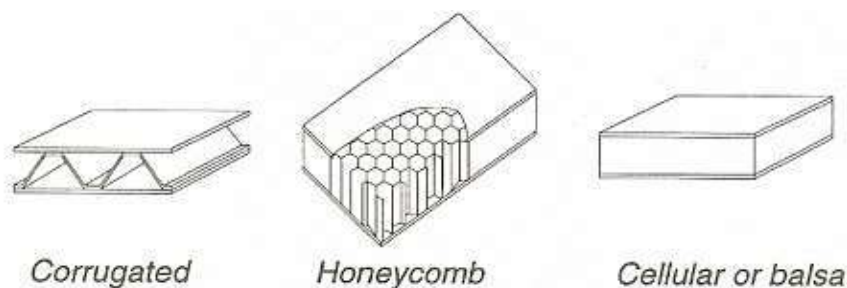
Gambar 2. 2 (a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional, (b) Konstruksi kapal *sandwich panel* (Utomo, 2016)

Gambar 2.2 merupakan perbedaan bentuk konstruksi geladak pada kapal dengan konstruksi pelat baja konvensional dan konstruksi kapal yang telah menggunakan *Sandwich Panel*. Efek lain dari pemasangan *sandwich panel* pada konstruksi kapal, yaitu dapat berkurangnya berat LWT dari kapal tersebut. Total berat yang dapat direduksi dari penerapan *sandwich panel* ini mencapai 13,08%

dibandingkan dengan baja biasa. Pengurangan beban ini bisa berakibat turunnya *draft* dan bertambahnya muatan tanpa harus mengorbankan *freeboard*. Pada Tabel 2.1 merupakan perbandingan berat konstruksi kapal antara konstruksi konvensional dengan konstruksi dengan menggunakan *Sandwich Panel*.

Sandwich plate system (SPS) merupakan salah satu bagian dari jenis *hybrid metal*. Dimana struktur *sandwich* jenis ini merupakan campuran antara bahan metal dan non metal. Terdiri dari kulit yang terbuat dari pelat dan inti (*core*) terbuat dari elastomer. *Sandwich* dengan model seperti ini, biasanya terbuat dari baja yang digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane* (Momcilovic & Motok, 2009).

Terdapat macam-macam bahan yang dapat digunakan untuk *facings sandwich* dan *inti*. Pada gambar 2.3 merupakan material yang digunakan pada umumnya meliputi logam (misalnya baja atau aluminium) dan komposit (misalnya polimer yang diperkuat serat). Bahan atau struktur inti yang umum termasuk penguat logam, busa (polimer atau logam), sarang lebah dan kayu balsa.



Gambar 2. 3 Contoh konfigurasi sandwich (dari Zenkert 1995)

Jenis struktur *sandwich* yang paling diminati di industri kelautan, yaitu *logam*, *logam hybrid*, dan *komposit*. Penjelasan lebih rinci mengenai ketiga jenis material ini dapat di lihat di bawah ini:

Tabel 2. 2 Jenis sandwich structure

Sandwich Structures							
logam			logam hybrid			komposit	
Core Stiffeners		Solid Core Layer	Core Stiffeners		Solid Core Layer	Core Stiffeners	Solid Core Layer
unidirectional	Multi- Directional		unidirectional	Multi- Directional			
Baik <i>facings</i> dan inti sandwich adalah logam. Yang ini bisa terdiri dari pengaku inti uni- or multi-directional, busa logam, atau sarang lebah. Bahan yang biasa digunakan untuk struktur sandwich logam adalah baja dan aluminium.			Sandwich yang mengandung campuran bahan logam dan non-logam, Ini biasanya berarti bahwa komposisi sandwich adalah logam dan inti sandwich mengandung beberapa bahan non-logam (misalnya busa, penguat logam non-metallik, atau panel baja).			Material ini Cores biasanya adalah busa polimer, sarang lebah atau balsa.	

Sumber : *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*

hal: 12

Meskipun terdapat berbagai jenis material *sandwich plate system* yang diuraikan di atas memiliki beberapa karakteristik dan pertimbangan masing-masing material, struktur sandwich memiliki beberapa keunggulan.

Keunggulan *sandwich* dibanding bahan struktural tradisional:

1. Rasio kekakuan tinggi terhadap berat, jadi sesuai untuk desain ringan.
2. Kekuatan tekuk yang baik dibandingkan dengan struktur pelat orthotropik tipis.
3. Sifat *crashworthiness* yang baik.
4. Mengurangi jumlah bagian melalui desain terpadu.
5. Ketepatan dan kerataan dimensi yang baik karena prefabrikasi di bengkel (Mengurangi waktu perakitan melalui pendekatan modular pada konstruksi).




Selain dari pengujian untuk karakteristik mekanikal properties. Pengujian lain juga dilakukan pada SPS, yang meliputi :





1. Ketahanan *fatigue* (*S-N curves*) pada ikatan antar bidang pelat dan sambungan las untuk penggabungan antara setiap panel SPS.
2. Ketahanan pada air laut dan ketahanan kimia pada elastomer harus dapat bertahan selama proses pengoperasian material.
3. Ketahanan terhadap getaran dan peredaman terhadap kebisingan. SPS memberikan ketahanan yang jauh lebih baik dari penggunaan baja.
4. Ketahanan terhadap balistik, diuji dengan dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kurva balistik untuk SPS berada di bawah dari baja, yang menandakan SPS lebih tahan terhadap ketahanan balistik dibanding dengan material baja.

2.2. Klasifikasi Struktur Sandwich Plate System

Struktur *sandwich plate system* didefinisikan sebagai satu konstruksi *plat* di mana kedua *facings* dan inti terbentuk dari bahan logam. Di industri *marine*, ini biasanya menggunakan baja dan aluminium. Selain bahan penyusun, struktur *sandwich* logam dapat diklasifikasikan lebih jauh oleh geometri inti. Beberapa contoh tipikal ditunjukkan pada table 2.3:

Tabel 2. 3 Struktur sandwich logam

Sandwich structure material	Core Stiffeners	
	Unidirectional	Multi-Directional
All-Steel	 Corrugations	 Wire pyramide core
	 Flat bars (I-Core™)	

		
	Z -profile	
All-Aluminium		
	Extrusions	
		
	Corrugations	
		
		Aluminium honeycom

Sumber : *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*

hal: 14

Dari berbagai jenis core logam dan aluminium di atas, inti struktur *sandwich* biasanya digabungkan ke *facings* dengan cara pengelasan (misalnya pengelasan busur, pengelasan laser),

2.3. Material epoxy resin

Resin sintetis adalah suatu campuran bahan non metalik buatan biasanya dari senyawa organik, yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk kebutuhan komersial, misalnya bahan pakaian, bahan bangunan, peralatan rumah tangga dan elektronik, dan berbagai keperluan manusia lainnya. Istilah plastic mencakup substansi yang fibrous (berserat) seperti karet, dan resinuous atau keras, dan kaku. Semua bahan tadi secara kimiawi mempunyai kesamaan dan tersusun dari polimer atau molekul-molekul kompleks dengan berat molekul (BM) yang tinggi. Morfologi dan bentuk khusus dari molekul menentukan tingkatan apakah plastic ini berupa fiber, seperti karet atau suatu resin.

Resin sintetis biasanya dibentuk dengan beberapa cara dengan pemanasan dan tekanan menjadi suatu benda yang berguna. Bila resin dibentuk tanpa suatu reaksi kimia, misalnya pelunakan dengan pemanasan dan tekanan dan didinginkan kembali setelah terbentuk, resin diklarifikasikan sebagai termoplastik

(thermoplastic). Resin termoplastik dapat dilebur biasanya larut dalam pelarut organik. Sebaliknya bila terjadi reaksi kimia selama pembentukan, sehingga hasil akhirnya secara kimiawi berbeda dengan substansinya aslinya, resin diklarifikasikan sebagai termoset(thermoset). Resin termoset umumnya tidak larut dan melebur.

Epoxy resin adalah kelas sistem ikatan kimia organik yang digunakan dalam preparat lapisan khusus atau perekat. Sedangkan epoxy adalah polimer thermosetting yang merupakan produk reaksi dari epoxy resin dan hardener amino (*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2002*). Polimer biasanya epoxy, vinylester atau polyester thermosetting plastik, dan resin fenol formaldehid .

Biro Klasifikasi Indonesia (2016) menerangkan dalam regulasinya bahwa resin digunakan sebagai bahan perekat pada penggunaan matrial FRP (*Fiberglass Reinforced Plastic*), dalam hal ini resin menjadi bahan pengikat serat fiber yang digunakan sebagai matrial utama pembangunan kapal fiber.



Gambar 2. 4 Epoxy Resin

Gambar 2.4 menunjukkan contoh epoxy resin dan hardener yang akan digunakan sebagai material core sandwich panel.

2.4. Material Komposit (serbuk kayu)

Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material pembentuknya melalui pencampuran yang tidak homogen, di mana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki

kelebihan dibanding dengan logam, yaitu :

- sifat mekanik yang lebih baik,
- kekuatan mampu atur yang tinggi (tailorability),
- kekuatan lelah (fatigue) yang baik,
- kekuatan jenis (strength/weight) dan kekakuan jenis (modulus young/density) yang lebih tinggi,
- tahan korosi,
- memiliki sifat isolator panas dan suara,
- dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi

Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material Pembentuk

Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.

2. Susunan Struktural Komponen

Di mana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.

3. Interaksi antar Komponen

Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda.

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matrik (bahan pengikat) dan filler (bahan pengisi). Filler adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. Gibson (1984) mengatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit. Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit lamina, komposit partikel, dan komposit serpihan.

Serbuk gergaji atau serbuk kayu sengon merupakan limbah industri penggergajian kayu. Selama ini limbah serbuk kayu sengon banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat.



Gambar 2. 5 Serbuk kayu sengon

Gambar 2.5 menunjukkan contoh limbah serbuk gergaji kayu sengon yang akan digunakan sebagai campuran material core sandwich panel.

2.5. Aplikasi *sandwich panel* pada konstruksi kapal

Baidowi dan utomo (2015) melakukan simulasi FE pada penggunaan SPS pada kontruksi *inner bottom* kapal *bulk carier* (BC) 11.000 DWT, dengan membandingkan pola distribusi tegangan dan deformasi pada kontruksi *inner bottom* yang menggunakan matrial baja AH36 dengan ketebalan 18 mm dan digantikan dengan matrial SPS, dengan nilai-nilai *matrial properties* yang diberikan oleh penlitia sebelumnya, nilai tegangan maksimum pada baja AH36 sebesar 226 Mpa dan SPS sebesar 221 Mpa.

Analisa dilakukan dengan simulasi numerik berdasarkan FEM pada kontruksi *inner bottom* dengan pembebanan muatan. Dari hasil simulasi

didapatkan besar tegangan maksimal untuk material baja AH36 sebesar 226 Mpa dengan menggunakan penegar, sedangkan konstruksi dengan material SPS tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 221 Mpa tanpa penggunaan penegar, dengan deformasi maksimal untuk AH36 dan SPS yaitu 77 mm yang terjadi pada bagian tengah blok konstruksi *inner bottom*. Dengan hilangnya penegar berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% dari penggunaan material baja AH36 sehingga memberikan peningkatan payload sebesar 13,05%. Simulasi penelitian dilakukan pada kapal Bulk Carrier (BC).

Brooking dan Kennedy (2004) melakukan studi simulasi penerapan SPS pada produksi kapal *tanker*, dengan LOA = 144,0 m, *Breadth* = 21,5 m, pada DWT = 14.000 ton dan kapasitas kargo = 16.660 m³, dengan menerapkan metode FEM (*Finite Element Methode*) dalam analisisnya pada beberapa konturksi plat datar pada kapal tanker.

Hasil analisa yang telah dilakukan menunjukkan nilai tegangan yang terjadi pada kontruksi yang menerapkan penggunaan SPS memberikan nilai yang sangat kecil dari kriteria tegangan yang di izinkan untuk seluruh bagian struktur kontruksi. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekuatan bahan berdasarkan beban takan dapat digunakan.

Tabel 2. 4 Hasil analisa tegangan – beban teganan lokal

Structural Member	Stress Quantity	Allowable	Stress, MPa	
		Stress	All-Steel	SPS
		Criteria	Scantlings	
Tank Top Plating	σ_x	108	88	106
	σ_x	147	128	118
	σ_x	177	113	110
Tank Top Stiffs	σ_x	100	87	-
Outer Bottom Plating	σ_x	108	89	102
	σ_x	147	124	119
	σ_x	177	115	111
Outer Bottom Stiffeners	σ_x	100	103	-
Inner Side Shell Plating	σ_x	108	136	86
	σ_x	147	84	112
	σ_x	177	123	102
Outer Side Shell Plating	σ_x	108	86	88
	σ_x	147	59	91
	σ_x	177	78	84

Main Deck Plating	σ_x	108	-	104
	σ_x	147	-	31
Longitudinal Bulkhead plating	σ_x	108	-	109
	σ_x	147	-	138
	σ_x	177	-	131

Sumber : Brooking dan Kennedy (2004)

Tabel 2.4 merupakan rincian tentang hasil tegangan yang terjadi pada beberapa titik tekan pada kapal tanker 14.000 DWT, pada perbandingan penggunaan material SPS dan material baja untuk setiap setruktur.

Selanjutnya melakukan perbandingan berat dari kapal tanker tersebut beserta analisa dari volume pada penggunaan material SPS. Dari hasil analisa tersebut menunjukkan hasil bahwa berat kontruksi dari kapal tanker tersebut menggunakan material SPS berkurang sebesar 2,8 persen. Analisa berat dan perbandingan kontruksi tersebut bisa di lihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 5 Perbandingan berat

Structure	Weight, tonnes		Difference	
	Conventiona Steel Scantlings	SPS Scantlings	tonnes	%
Double Bottom	133.4	116.8	-16.6	-12.4
Side Shell	102.1	109.9	+7.8	+7.4
Longitudinal Bulkhead	24.0	22.4	-1.6	-6.6
Main Deck	503.3	52.0	+1.7	+3.4
Total	309.8	301.1	8.7	-2.8.

Sumber : Brooking dan Kennedy (2004)

Tabel 2.5 menunjukkan perhitungan berat yang dilakukan Brooking dan Kennedy pada kapal tanker yang menggunakan material baja dengan matriap SPS untuk setruktur *Double Bottom*, *side shell*, *longitudinal bulkhead* dan *main deck*.

2.6. Penentuan Ketebalan Sandwich Panel

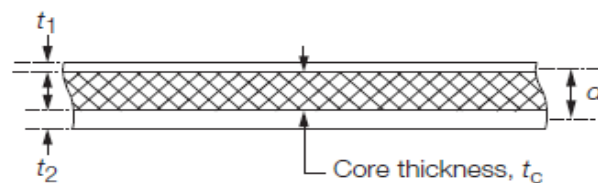
Penentuan ketebalan dari penggunaan panel SPS, yang terdiri dari 3 bagian ketebalan, yaitu t_1 untuk ketebalan lapisan atas (*top plate*), t_2 untuk ketebalan lapisan bawah (*bottom plate*) dan t_c untuk ketebalan lapisan inti core material.

Ketebalan minimum dari rancangan panel sandwich, dihitung berdasarkan persamaan berikut ini, berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh LR (2015) ketebalan minimum core tidak boleh lebih dari :

Tabel 2. 6 Ketebalan minimum

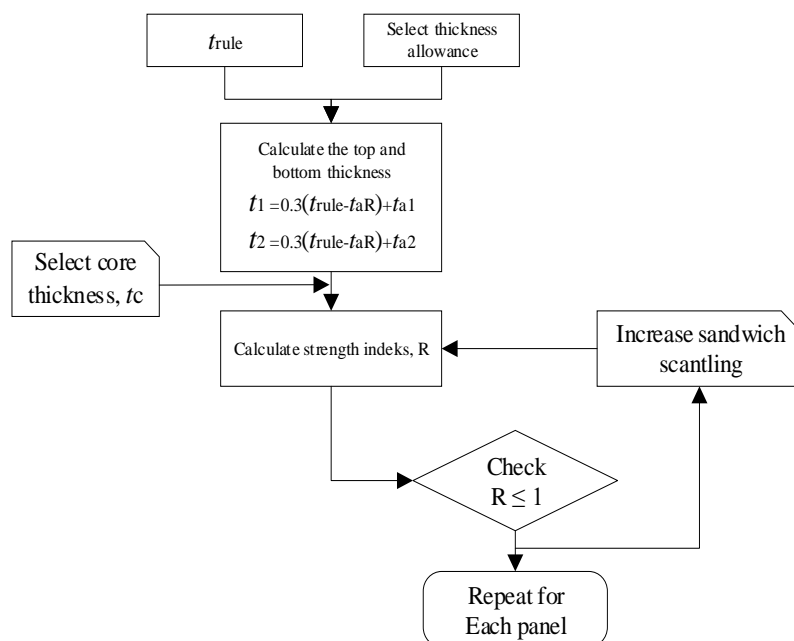
Item	Minum thickness in mm	
	New construction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness

Minimum ketebalan *core* $t_c = 15$ mm



Gambar 2. 6 Definisi ketebalan *sandwich plate*

Ketebalan minimum yang digunakan dalam pembuatan sandwich system oleh LR bisa dilihat lebih rinci pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Penentuan skema perhitungan ketebalan *sandwich panel*

Pada tabel 2.7 merupakan kelonggaran ketebalan atau *thickness allowance* yang diatur oleh LR.

Tabel 2. 7 Thickness allowance

Struture	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
Bottom shell	1	0	1
Side shell	1	0	1
Inner bottom, hopper plating	2	1	1
Inner bottom, at crown of tank	3.5	1	2.5
Strength deck	2.5	2.5	0
Internal deck	0	0.0	0
Superstructure Deck	0	0.0	0
Watertight bulkheads	0	0.0	0
Deep tank bulkheads	2.5	0.0	2.5
Deep tank crown which is also a deck	3.5	1.0	2.50
Vahicle deck clear of tanks	2	2	0

Sumber : LR chapter 3 section 4 (2015)

Sedangkan untuk ketebalan *face plate* yang digunakan ditentukan berdasarkan metode *trial and error*, dengan menggunakan persamaan 2.1, yang ditunjukkan sebagai berikut.

$$R = 0,01A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] kP_{eq,R} \leq 1 \quad (2.1)$$

Dimana :

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,65}$$

$$P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/l^2) , \text{ (MPa)}$$

$$l = \text{panjang panel, (m)}$$

$$Z_{rule} = \text{ekivalen modulus penampang, (cm}^3\text{)} ; \text{ disesuaikan penampang midsihip}$$

$$t_c = \text{pilihan ketebalan lapisan inti, (mm)}$$

$$a = \text{panjang panel pada tepi terpanjang, (mm)}$$

$$b = \text{lebar panel pada tepi terpendek, (mm)}$$

$$d = \text{parameter ketebalan, (mm)}$$

t_1, t_2 = ketebalan panel lapisan atas dan bawah, (mm)
 k = faktor kekuatan baja.

Persamaan 2.1 merupakan penentuan ketebalan lapisan inti yang akan digunakan pada pembangunan konstruksi kapal baru. Sedangkan, untuk kondisi penggunaan SPS sebagai konstruksi *Overlay* yang biasanya dilakukan untuk melapisi bagian pelat baja pada konstruksi kapal, penentuan ketebalan lapisan inti diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$R = 0,0125 \left[0,1 \frac{s^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{st_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] P_{eq,R} \leq 1 \quad (2.2)$$

Dimana :

s = jarak antara *longitudinal stiffeners*, (mm)
 P_{eq} = $200 (t_{rule}/s)^2$, (MPa).

t_{rule} dalam persamaan 2.2, ditentukan berdasarkan perhitungan ketebalan pelat kapal yang akan dirancang. Perhitungan ketebalan ini mengacu pada penggunaan standarisasi yang telah diatur dalam *rule* yang digunakan.

2.7. Standarisasi Pengujian Matrial

LR, (2015) mengatur standarisasi pengujian *matrial sandwich panel*, baik untuk persyaratan *core matrial* hingga kriteria persyaratan *sandwich panel* yang digunakan. Standarisasi pengujian dan kriteria nilai hasil pengujian ditetapkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 8 Standarisasi pengujian dan kriteria *sandwich panel*

Property	Tes	Number of	Acceptance criteria
	standard	parallels	LR
Density	ISO 845	min. 5	≥ 1000 kg/m3 at RT
Hardness	DIN 53505	min. 5	Shore D≥65 at RT
Tensile Strength	ISO 527	min. 5	≥20MPa at RT
Tensile Modulus	ASTM D412		≥5MPa at +80°C
Elongation at break			Min. 10% at −20°C Min. 20% at RT
Compressive Strength	ISO 604	min. 5	-
Compressive Modulus	ASTM D575		-
Shear Modulus	Torsion pandulum test - 20 ⁰ c to + 80 ⁰ c, or +80 ⁰ c only DIN EN ISO 6721-A	min. 5	G≥312-2.4T (°C)
Bond shear strength	ASTM D429-81	min. 5	≥2.7MPa (shot strength blasted) ≥4MPa (grit blasted)
Bond shear strength from beam flexure 4)	ASTM C393	min. 5	-

Sumber : LR *Chapter 2 section 3* (2015)

2.7.1 Pengujian densitas

Massa jenis atau disebut juga dengan istilah densitas adalah perbandingan antara massa suatu zat dengan volumenya. Massa jenis merupakan ciri khas setiap zat. Oleh karena itu zat yang berbeda jenisnya pasti memiliki massa jenis yang berbeda pula. Massa jenis zat tidak dipengaruhi oleh bentuk dan volume. Jadi, asalkan dibuat dari bahan yang sama, suatu benda akan memiliki massa jenis yang sama. Massa jenis zat dapat diukur. Secara matematis, massa jenis zat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut. persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \times 10^6 \quad (2.3)$$

Dimana :

m : massa, untuk spesimen uji, (gram)

V : volume spesimen uji (mm^3)

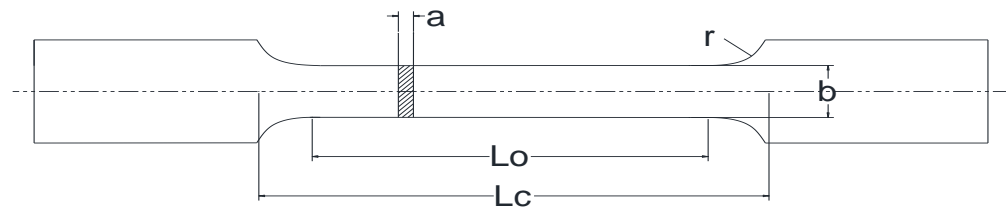
Pengujian densitas mengapa dilakukan karena disini kita harus mengetahui kepadatan dari material *sandwich plate system* berdasarkan ISO 845. Dimana dimensi dibentuk secara manual dengan jelas untuk memudahkan dalam perhitungan volume pada material.

Nilai densitas ρ didapat dari nilai rata-rata spesimen benda uji

2.7.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik yaitu pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang sifat-sifat dan keadaan dari suatu logam. Pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan-lahan, kemudian akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini terus berlanjut sampai bahan sampai titik *propotionality limit*. Setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan penambahan panjang yang lebih besar dan suatu saat terjadi penambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Hal ini dikatakan batang uji mengalami *yield* (luluh). Keadaan ini hanya berlangsung sesaat dan setelah itu akan naik lagi.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material tersebut yang akan diuji. Spesimen benda uji yang merupakan plat maka akan dibentuk menjadi spesimen benda uji yang di buat sesuai dengan aturan ASTM D638 adapun bentuk dari spesimen uji tarik dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 8 Spesimen uji tarik

Dimana :

a : ketebalan sandwich panel, plate maupun core material (mm)

b : lebar spesimen sandwich panel (mm)

L_0 : Panjang Pengukuran awal (mm)

L_c : panjang bidang spesimen yang akan diuji (mm)

S_0 : pengukuran luas penampang pada spesimen

r : radius

Tegangan tarik yang dihasilkan dari pembebanan tarik pada spesimen uji tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_{tk} = F/A \quad (2.4)$$

dimana :

F = Gaya yang diamati, (N)

A = Luas penampang dari bidang spesimen yang tertarik, S_0 , (mm²)

σ_{tk} = Tegangan tarik, kekuatan tarik material, (Mpa)

Sedangkan, elongasi yang terjadi dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$Elongation, (\%) = \frac{(L - L_0)}{L_0} \cdot 100 \quad (2.5)$$

dimana :

L = Jarak dari pertambahan panjang material, (mm)

L_0 = Jarak hasil dari panjang pengukuran awal, (mm)

Sedangkan untuk reduksi pada daerah yang putus akibat pembebanan tarik diperhitungkan dengan persamaan berikut ini.

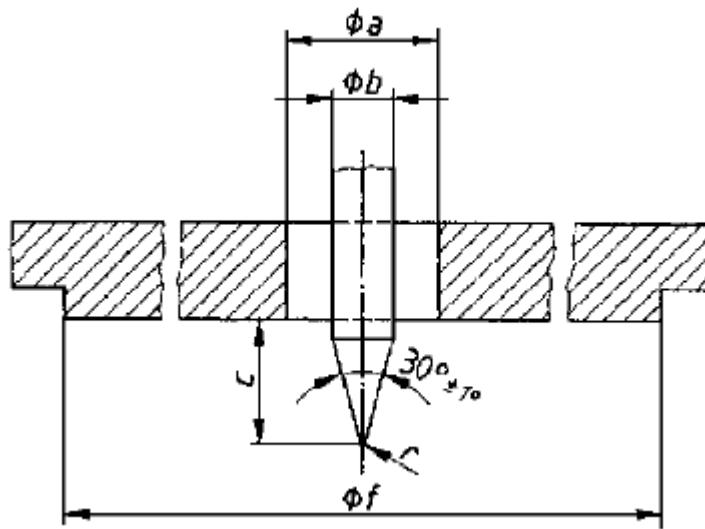
$$\text{Reduction in area, (\%)} = \left(\frac{S_o - S_u}{S_o} \right) \cdot 100 \quad (2.6)$$

dimana : S_o , merupakan pengukuran terkecil untuk luasan penampang setelah spesimen putus. dengan nilai modulus elastisitas, E_f didapatkan dari tegangan tarik yang dihasilkan dibagi dengan regangan yang terjadi ($\Delta L/L_0$).

2.7.3 Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah di golongan sebagai material ulet atau getas.

Kekerasan (Hardness) adalah salah satu sifat mekanik (Mechanical properties) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (frictional force) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Pada penelitian ini menggunakan durometer Shore D, sesuai dengan aturan DIN 53505.



Gambar 2. 9 Bentuk identer pada Shore D
(DIN 53505, “Shore D hardness testing of rubber”)

Pada gambar 2.9 menunjukkan bentuk dari identer/penekan pada Shore D, dimana bentuk identer runcing pada ujungnya, adapun keterangan dimensi pada Shore D dapat dilihat pada tabel 2.9

Tabel 2. 9 Dimensi identer Shore D

a	$\Theta (3\pm0.10)$ mm	<i>Indenter hardened and polished</i>
b	$\Theta (1.25\pm0.15)$ mm	
c	(2.5 ± 0.02) mm	
d	(0.79 ± 0.01) mm	
r	(0.1 ± 0.01) mm	
f	$\Theta (18.25\pm0.5)$ mm	

Sumber : DIN 53505, “Shore A and Shore D hardness testing of rubber”

Pada pengujian kekerasan ini, sesuai dengan standard DIN 5305, specimen pengujian kekerasan memiliki ketebalan minimum 6 mm dengan permukaan yang datar. Kemudian pengujian ini dilakukan dengan menekan durometer tegak lurus terhadap specimen, waktu yang dianjurkan untuk pengujian ini adalah dengan

menekan selama tiga detik, untuk material spesimen yang keras penekanan durometer ke benda uji sekurang-kurangnya 15 detik.

2.7.4 Pengujian Tekan (Compression Test)

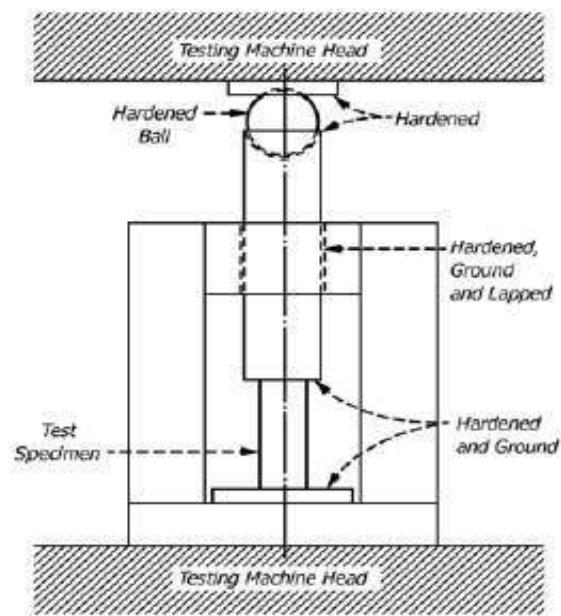
Kekuatan tekan adalah kapasitas dari suatu bahan atau struktur dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Kekuatan tekan dapat diukur dengan memasukkannya ke dalam kurva tegangan-regangan dari data yang didapatkan dari mesin uji. Beberapa bahan akan patah pada batas tekan, beberapa mengalami deformasi yang tidak dapat dikembalikan. Deformasi tertentu dapat dianggap sebagai batas kekuatan tekan, meski belum patah, terutama pada bahan yang tidak dapat kembali ke kondisi semula (*irreversible*). Pengetahuan mengenai kekuatan tekan merupakan kunci dalam mendesain sebuah struktur. Kekuatan tekan dapat diukur dengan mesin uji UTM Pengujian kekuatan tekan, seperti halnya pengujian tarik dipengaruhi oleh kondisi pengujian (penyiapan spesimen, kondisi kelembaban dan temperatur ruang uji, dan sebagainya).



Gambar 2. 10 Ilustrasi benda yang ditekan

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa material benda uji mendapatkan gaya tekan dari atas dan dari bawah.

Uji tekan adalah suatu alat uji mekanik yang berguna untuk mengukur dan mengetahui kekuatan benda terhadap gaya tekan. Uji tekan ini memiliki kinerja yang bagus dan berkualitas untuk mengetahui kekuatan benda. Pada umumnya uji tekan ini digunakan pada logam yang bersifat getas, karena alat uji tekan ini memiliki titik hancur yang terlihat jelas di saat melakukan pengujian benda tersebut. Alat untuk pengujian tekan dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 *Compression tool*
(ASTM D695 *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*)

Gambar 2.10 menunjukkan alat atau mesin uji untuk uji tekan atau pengujian lentur sesuai standar ASTM D695 adalah berbentuk silinder atau prisma, yang mana panjang dari specimen adalah dua kali dari lebar atau diameter. Ukuran spesimen yang disarankan adalah 12.7 mm dengan 12.7 mm dengan 25.4 mm (0.5 inchi dengan 0.5 inchi dengan 1 inchi) untuk bentuk specimen prisma atau 12.7 mm pada diameter dengan 25.4 mm untuk bentuk silinder. Jumlah minimum specimen yang diuji yaitu lima specimen. Untuk perhitungan *compressive strength* dapat dilihat pada persamaan 2.7, *maximum compressive load* dibagi dengan *minimum cross sectional area*.

$$\text{Compressive strength} = \frac{\text{maximum compressive load}}{\text{minimum cross sectional area}} \quad (2.7)$$

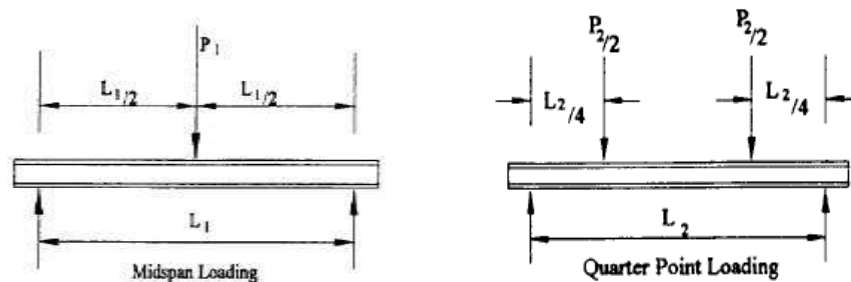
2.7.5 Pengujian lentur.

Kekakuan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Modulus Elastisitas (E) adalah harga kekakuan suatu material pada daerah elastis. Modulus elastis juga berarti perbandingan tegangan dengan regangan pada daerah

elastis. Material yang lentur (tidak kaku) adalah material yang dapat mengalami regangan bila diberi tegangan atau beban tertentu. Tegangan atau beban yang diberikan pada specimen uji haruslah dibawah harga beban maksimum agar specimen tidak mengalami deformasi plastis.

Uji lentur (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual.

Pada pengujian kekuatan lentur dan kekerasan dilakukan dengan pemberian beban pada material sehingga secara bersamaan mulai terbentuk tegangan tarik, tekan, dan geser. Beban tersebut akan maksimum pada permukaan spesimen, serta bernilai nol pada *neutral axis*-nya. Secara umum pengujian dilakukan dengan menggunakan dua tipe pembebanan, yakni: *midspan loading* dan *quarter point loading*. Berikut ini merupakan skema pengujian keduanya beserta diagram gaya geser serta momen lenturnya.



Gambar 2. 12 Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda
(ASTM C 393, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich
Constructions*)

Gambar 2.12 menunjukkan dua tipe pengujian dari pembebanan tunggal pada spesimen dan pembebanan ganda, dengan aturan jarak posisi pembebanan yang diberikan pada tiap tipe pengujian yang dilakukan.

Tegangan geser *core*, pada pembebanan tunggal (*midspan loading*), dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \quad (2.8)$$

dengan tegangan lentur, *midspan loading*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{lt} = \frac{PL}{2t(d+c)b} \quad (2.9)$$

dimana :

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

σ_{lt} = tegangan lentur, (MPa)

P = beban, (N)

d = ketebalan *sandwich*, (mm)

c = ketebalan lapisan *core*, (mm)

b = lebar *sandwich*, (mm)

L = panjang bentang, (mm)

Defleksi atau lendutan spesimen dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (2.10)$$

dimana :

Δ = total defleksi bidang tengah bentang, (mm)

G = modulus geser inti, lihat (G_c , bab 2), (MPa)

E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)

D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)

$$U = \frac{G(d+c)^2b}{4c}, \text{ (N)}$$

Dengan nilai kekakuan lentur untuk lapisan luar yang sama, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (2.11)$$

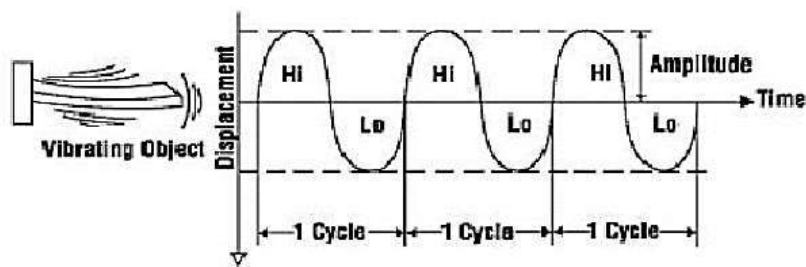
2.8 Pengujian getaran

Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan di mana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama.

Ada dua bentuk getaran secara umum.

1. Getaran bebas terjadi bila sistem mekanis dimulai dengan gaya awal, lalu dibiarkan bergetar secara bebas. Contoh getaran seperti ini adalah memukul garpu tala dan membiarkannya bergetar, atau bandul yang ditarik dari keadaan setimbang lalu dilepaskan.
2. Getaran paksa terjadi bila gaya bolak-balik atau gerakan diterapkan pada sistem mekanis. Contohnya adalah getaran gedung pada saat gempa bumi.

Menurut *Thompson* (1980), Sistem mengandung massa dan elastisitas yang mampu bergerak secara relatif, apabila gerakan sistem seperti itu berulang sendiri dalam interval waktu tertentu maka gerakan itu dikenal dengan getaran (*vibration*). Getaran pada umumnya merupakan bentuk energi sisa dan pada berbagai kasus tidak diinginkan. Getaran pada umumnya merupakan sebuah fenomena baik alami maupun mekanis dimana osilasi terjadi diantara titik keseimbangannya. Osilasi adalah peristiwa berayunnya suatu benda untuk mencapai titik keseimbangannya. Frekuensi natural adalah frekuensi sistem yang mempunyai getaran bebas tanpa peredaman.



Gambar 2. 13 Siklus getaran

Getaran dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Getaran Mekanik, yaitu getaran yang ditimbulkan oleh sarana dan peralatan kegiatan manusia.
2. Getaran seismik, yaitu getaran tanah yang disebabkan peristiwa alam Dan kegiatan manusia
3. Getaran Kejut, yaitu getaran yang berlangsung secara tiba-tiba dan sesaat

Alat Uji Getaran adalah perangkat alat yang dipakai untuk mengukur gerakan bolak-balik dari komponen mekanik dari suatu mesin sebagai reaksi dari

adanya gaya dalam (gaya yang dihasilkan oleh mesin tersebut) maupun gaya luar (gaya yang berasal dari luar atau sekitar mesin). Alat Uji getaran merupakan salah alat untuk mengukur suatu nilai getar, dimana getaran yang terjadi akan di eksekusi dalam bentuk data di alat tersebut. sehingga dapat di ketahui jumlah data yang telah dicapai sampai objek yang di uji mencair batas pengujian. guna menentukan standarisasi yang diinginkan.

Alat Uji getaran ini terbagi menjadi dua jenis yaitu :

- Sensor Getaran, Secara konsep, sensor getaran memiliki fungsi untuk mengubah besar signal getaran fisik menjadi signal getaran analog yang terukur dalam besaran listrik dan pada umumnya berbentuk tegangan listrik.
- Dinamic Signal Analizer (DSA), adalah getaran mesin dalam kombinasi kompleks dari signal yang berasal dari berbagai sumber getaran yang berada didalam mesin.

2.8.1 Modal Analysis Experiment

Experimental modal analysis (EMA) merupakan salah satu cara yang digunakan untuk menganalisis karakteristik dinamik suatu struktur. EMA diaplikasikan di berbagai bidang, antara lain rekayasa struktur, otomotif, disain, maupun pemesinan. Dalam EMA pengukuran gaya input (excitation force) dan respon dari struktur (frequency response function, FRF) dilakukan dalam domain waktu (time domain) yang kemudian diubah dalam domain frekuensi (frequency domain) menggunakan Fast Fourier Transform (FFT).

2.8.2. Fourier Transform

Fourier Transform biasa disingkat FFT adalah suatu algoritme untuk menghitung transformasi *Fourier diskrit*, *Discrete Fourier Transform*, DFT dengan cepat dan efisien. Transformasi Fourier Cepat diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan diferensial parsial, dan untuk algoritme untuk mengalikan bilangan bulat besar.. Berikut adalah formula dari *Fourier Transform*:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.12)$$

Dimana:

$X(f)$ = fungsi spectrum pada frekuensi domain

$X(t)$ = fungsi spectrum pada *time domain*

i = $\sqrt{-1}$

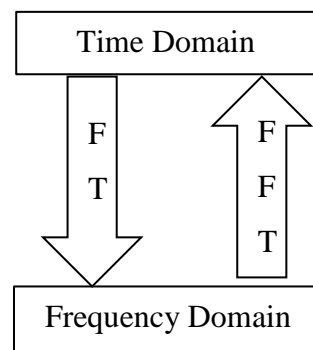
ω = frekuensi (Hz)

t = waktu (sec)

Pengolahan data frekwensi domain umumnya dilakukan dengan tujuan :

1. Untuk memeriksa apakah amplitudo suatu frekwensi domain dalam batas yang diizinkan.
2. Untuk memeriksa apakah amplitudo untuk rentang frekwensi tertentu masih berada dalam batas yang diizinkan.
3. Untuk tujuan keperluan diagnosis.

Dalam prakteknya proses konversi ini dilakukan dengan menggunakan proses Transformasi Fourier Cepat (Fast Fourier Transformation FFT).



Gambar 2. 14 Hubungan Data Time Domain dengan Frequency Domain

Pada gambar 2.14 dapat dilihat data domain waktu merupakan respon total sinyal getaran, sehingga karakteristik masing-masing sinyal getaran tidak terlihat jelas. Dengan bantuan konsep deret fourier, maka sinyal getaran ini dapat dipilih-pilih menjadi komponen dalam bentuk sinyal sinus yang frekuensinya merupakan frekuensi-frekuensi dasar dan harmonic.

2.8.3 Frekuensi Natural

Frekuensi natural adalah frekuensi sistem tanpa damping tanpa eksitasi, yaitu apabila sistem diganggu dari keseimbangannya kemudian dibiarkan bergetar. Frekuensi natural ini lazim ditulis dengan f_n dalam *Hertz* atau (ω) dalam *radian/detik*.. Perhitungan matematis frekuensi natural getaran didapat dari persamaan (Thomson 1980).

$$\omega_n = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.13)$$

Nilai dari $(\beta_n l)$ tergantung dari kondisi tumpuan, untuk batang dengan kondisi tumpuan menggunakan persamaan (Thomson 1980).

Tabel 2. 10 Nilai numerik $(\beta_n l)^2$ untuk keadaan ujung tertentu (Thomson, 1980)

Konfigurasi batang	$(\beta_{1l})^2$ Mode 1	$(\beta_{2l})^2$ Mode 2	$(\beta_{3l})^2$ Mode 3
Ditopang sederhana	9.87	39.5	88.9
Konsol	3.52	22.0	61.7
Bebas-bebas	22.4	61.7	121.0
Jepit-jepit	22.4	61.7	121.0
Jepit-engsel	15.4	50.0	104.0
Engsel-bebas	0	15.4	50.0

Dimana,

frekuensi natural (Hz)

ρ = massa jenis bahan (kg/m^3)

l = panjang balok (m)

I = momen inersia balok (m^4)

E = Modulus Young (N/m^2)

Estimasi Frekuensi Natural. Mengestimasi frekuensi natural pada frequency domain menjadi hal yang rancu. Karena pada kondisinya tidak diketahui *mode* atau bentuk getaran yang ada pada *spectrum* hasil penelitian. Oleh karena itu,

pada beberapa penelitian, tambahan bantuan seperti *software* lainnya dibutuhkan dalam proses estimasi. Frekuensi natural dari *mode* ke-*r*, dipilih berdasarkan nilai tertinggi dari amplitude pada frekuensi sekitar *mode* tersebut.

$$|\alpha_r(\omega)|_{max} = \omega_r = \omega_{peak} \quad (2.14)$$

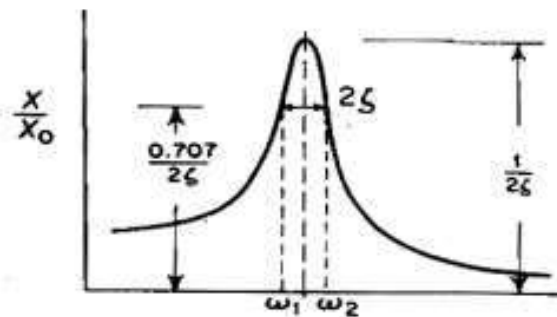
α_r = amplitude pada *mode* ke-*r*

ω_r = estimasi frekuensi natural pada *mode* ke-*r*

Untuk mengestimasi redaman, lokasi dari ω_a dan ω_b harus ditentukan terlebih dahulu untuk setiap sisi dari puncak *spectrum* yang ingin diidentifikasi. Posisinya adalah sebuah titik dengan *amplitude* $\frac{\alpha_{max}}{\sqrt{2}}$. Kemudian *damping ratio* dapat di estimasi menggunakan formula persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\zeta_r = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_r} \quad (2.15)$$

Pada gambar 2.15 dapat dilihat cara untuk menentukan redaman yang terjadi. Penentuan redaman dengan cara memilih frekuensi antara.



Gambar 2. 15 Penentuan estimasi Redaman, *Half power bandwidth*

(Thomson, 1980)

2.9. Metode Elemen Hingga

Finitie Element adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik.

Metode lainnya adalah metode analitik, untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, constrain, sifat material, dan lain-lain) maka semakin sulit atau bahkan mustahil dibangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Alternatif metodenya adalah dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil yang sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut kita bisa membangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagi metode elemen hingga, karena kita membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (finite) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum).

Finite element analysis (FEA) adalah suatu cara atau metode numeris untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan diferensial maupun persamaan integral. Penyelesaian persamaan diferensial didasarkan pada penyederhanaan persamaan diferensial yang kompleks dan banyak menjadi persamaan diferensial biasa, kemudian diselesaikan dengan mengintegralkan secara numeris dengan menggunakan metode Euler atau Runge- Kutta. Dalam FEA, obyek baik berupa luasan (2D) maupun volume (3D) dipecah menjadi elemen kecil-kecil kemudian dengan memasukan nilai batasan (biasanya pada permukaan) dan nilai awal (sebagai trial and error) pada rumus-rumus yang ada (misalnya persamaan diferensial). Perhitungan seperti itu dilakukan berulang-ulang (iterasi) sehingga diperoleh hasil yang tepat (masuk toleransi). Perhitungan ini bila dilakukan secara manual akan sulit dan memerlukan waktu yang lama, namun dengan bantuan sebuah computer, perhitungan menjadi mudah dan cepat. Dengan perkembangan computer yang pesat, maka bermunculan banyak software FEA untuk membantu merancang suatu komponen dan system. Di dalam FEA terdapat istilah Homogen dan Heterogen, dimana homogen sendiri adalah yang sama rupa dan sifatnya. Oleh karena itu pembatasan masalah pada material yang homogen ditujukan pada material yang ikatan antar molekulnya berlaku ke segala arah (logam, polimer, keramik). Dengan demikian

pula, pembatasan material yang dianalisa diatas membuat pembahasan ini tidak sesuai dengan karakteristik material yang bersifat heterogen seperti komposit yang memiliki matriks dan filler, yang mana arah pembebanan sangat berpengaruh pada respons/dampak pada material

Metode elemen hingga adalah metode numerik domain diskritisasi dari struktur secara berkelanjutan sehingga kesalahan pun mungkin terjadi. Kesalahannya yaitu :

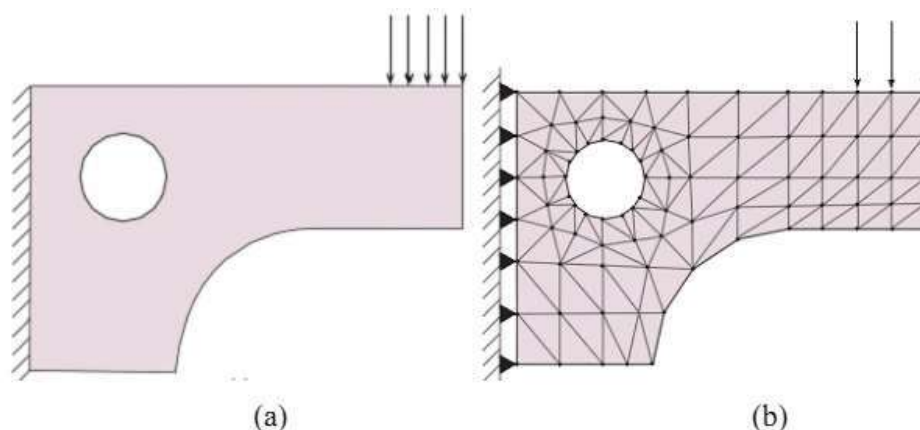
1. Kesalahan komputasi

Kesalahan ini adalah karena perhitungan komputer dan formulasi dari skema integrasi numerik yang digunakan. Untuk tujuan komersial kebanyakan kode batasan elemen adalah berkonsentrasi pada pengurangan dalam kesalahan ini dan akibatnya analisis umumnya berkaitan dengan diskritisasi faktor.

2. Kesalahan diskritisasi

Geometri dan distribusi perpindahan struktur yang sebenarnya terus menerus bervariasi. Menggunakan jumlah elemen terbatas untuk model struktur dapat menerangkan kesalahan dalam pencocokan geometri dan distribusi perpindahan karena keterbatasan matematika yang melekat pada elemen.

Berikut ini adalah contoh kesalahan dalam diskritisasi dengan ketebalan yang konstan pada struktur plat tipis ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2. 16 (a) Pemberian Beban pada Suatu Plat; (b) Model Elemen Hingga

Secara umum ada beberapa jenis metode di dalam Finite Element Method (FEM) yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah-masalah yang ada di dalam dunia teknik. Perluasan dari metode finite element tersebut memang banyak macamnya. Berikut beberapa perluasan dari Finite Element Method (FEM).

1. hp-FEM

hp- FEM adalah versi umum dari metode elemen hingga (FEM), sebuah numerik metode untuk memecahkan persamaan diferensial parsial berdasarkan perkiraan piecewise-polynomial menggunakan unsur-unsur variabel ukuran (h) dan derajat polinomial (p).

2. Extended finite element method (XFEM)

Extended finite element method (XFEM) adalah metode teknik numerik yang memperpanjang klasik metode elemen hingga (FEM) dengan pendekatan memperluas ruang untuk solusi-solusi untuk persamaan diferensial dengan fungsi kontinu.

3. Spectral method

Metode spektral adalah sebuah teknik yang digunakan dalam matematika terapan dan komputasi ilmiah tertentu untuk menyelesaikan secara numerik dengan menggunakan persamaan diferensial parsial (PDEs), dan sering juga melibatkan penggunaan fast fourier transform. Metode spektral memiliki tingkat error yang sangat baik yang disebut dengan “exponential convergen” sehingga membuat metode ini menjadi yang tercepat.

4. Meshfree method

Metode meshfree merupakan kelas tertentu dari numerical simulation algorithms untuk mensimulasikan fenomena-fenomena yang berupa fisik. Simulasi algoritma tradisional mengandalkan pada grid atau mesh sedangkan metode meshfree menggunakan pendekatan simulasi geometri dalam penghitungannya. Hal ini menjadi salah satu kelebihan dari metode meshfree dibanding dengan metode konvensional.

5. Discontinuous galerkin method

Metode Galerkin diskontinu pertama kali diusulkan dan dianalisis pada awal 1970-an sebagai suatu teknik untuk menyelesaikan secara numerik persamaan diferensial parsial. Pada tahun 1973 Reed dan Hill memperkenalkan metode Discontinuous Galerkin untuk memecahkan persamaan transpor neutron hiperbolik. Metode ini digunakan untuk memecahkan persamaan diferensial parsial dengan menggabungkan fitur dari finite element dan volume element, dan berhasil diaplikasikan untuk ukuran seperti hiperbolik, elips dan parabola.

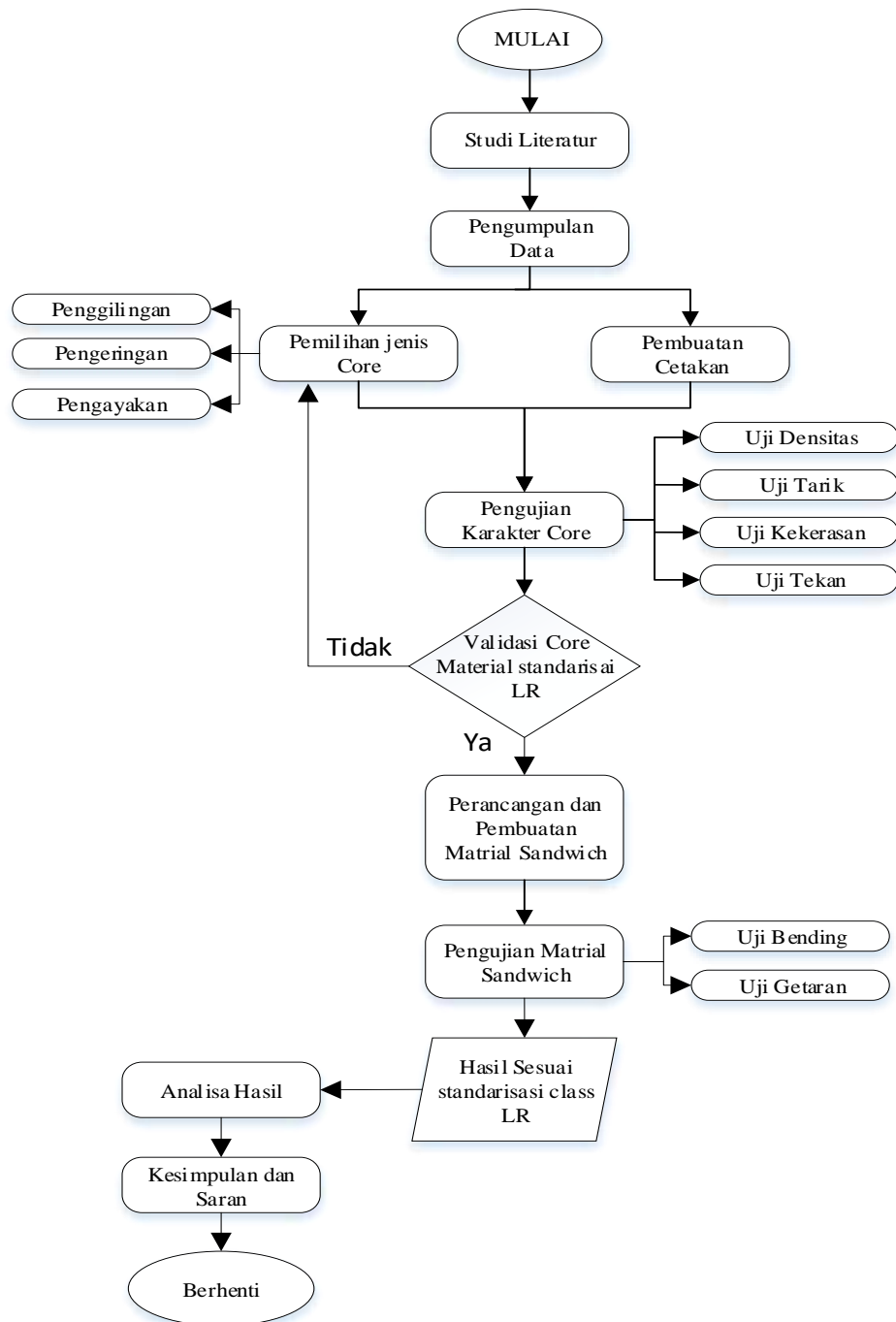
Dengan demikian, untuk menghitung ketebalan tabung bejana tekan dan menghitung ketebalan serat kompositnya, akan sangat banyak persamaan yang digunakan dan metode perhitungan yang bervariasi, maka dari itu untuk mempermudah dan mempersingkat perhitungan digunakan metode elemen hingga (finite element method) dibantu dengan aplikasi. Langkah-langkah FEM dimulai dengan pemodelan desain dengan CAD dan diberikan variasi ketebalan untuk selanjutnya disimulasikan pada aplikasi dengan metode finite element analysis (FEA) untuk mengetahui nilai akhir dari setiap ketebalan yang beragam dengan ketentuan pemilihan hasil akhir yaitu tegangan struktur dibawah tegangan yang diizinkan.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan penelitian

Sebagai landasan operasional pelaksanaan eksperimen dalam penelitian ini disusun kerangka penelitian secara skematis diuraikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram alir

Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian yang dilakukan, diawali dengan melakukan studi pendahuluan dan studi literatur dari penerapan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal. Studi pendahuluan dilakukan dengan melakukan percobaan pembuatan *sandwich panel* menggunakan bahan sederhana yaitu material multiplek untuk lapisan *faceplate* dan *core material* merupakan *composit*. Tujuan studi pendahuluan adalah untuk mengetahui pola dan alternatif teknis yang lain dalam proses pembuatan *sandwich panel* selanjutnya.

Tahap selanjutnya adalah melakukan identifikasi terhadap jenis *core material* yang akan digunakan. Identifikasi dilakukan dengan menginvestigasi karakteristik kekuatan material berdasarkan uji tarik. Jenis *core material* yang digunakan adalah serbuk kayu sengon. Nilai kekuatan *core material* yang akan digunakan harus sesuai dengan standarisasi nilai kekuatan yang telah ditetapkan oleh LR.

Tahap ketiga yaitu dilakukan setelah tahap identifikasi *core material* terpenuhi. Pada tahap ini dilakukan pembuatan *sandwich panel* dengan kombinasi material baja sebagai *faceplate* yang sebelumnya diidentifikasi jenis material baja yang digunakan untuk keperluan desain ketebalan lapisan dan *core material* terpilih. Setelah proses pembuatan material berhasil dilaksanakan, maka dilanjutkan pada proses preparasi material dalam bentuk spesimen pengujian.

Tahap keempat penelitian yaitu melakukan identifikasi karakteristik dan batas kekuatan dari material *sandwich panel*. Dalam hal ini dilakukan pengujian densitas untuk mengetahui berat volume dari material, pengujian tarik untuk mengetahui nilai kekuatan material berdasarkan pembebanan aksial dan pengujian lentur untuk mengetahui batas kekuatan lentur serta perubahan posisi material ketika terjadi pembebanan. Berdasarkan pengujian ini akan diketahui batas ketangguhan material dari hasil grafik pengujian yang diberikan.

Tahap terakhir dalam penelitian adalah melakukan konversi pemindahan hasil eksperimen ke kondisi realita. Hal ini dilakukan dengan menggunakan perhitungan mekanika teknik dari kondisi pembebanan *real* pada kapal untuk mengetahui perubahan jarak antar penegar yang akan digunakan. Setelah proses ini selesai, maka dilanjutkan pada analisa hasil perubahan berat dari konstruksi kapal yang hanya ditinjau pada beberapa *block* dalam *parallel middle body*.

3.2. Metode Identifikasi *Core Material*

Dalam pembentukan *sandwich panel* memerlukan identifikasi pada karakteristik *core material* yang akan digunakan. Dalam hal ini dilakukan identifikasi pada jenis *core material* serbuk kayu, karakteristik *core material* mengacu pada standarisasi LR.

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah *Epoxy Resin* dan serbuk kayu sengon. Epoxy resin ini sangat tahan terhadap proses korosi dan asam - alkali. Resin tipe ini tahan terhadap proses korosi yang disebabkan oleh kelembaban lingkungan sekitar sehingga cocok untuk material baja yang notabnya berada di daerah atau tempat dengan kadar asam tinggi. Dengan sifat ini, kerusakan yang disebabkan karena proses korosi dapat dihindari. Resin Epoxy ini mampu menahan resapan air (*adhesion*) sangat baik dan kekuatan mekanik yang paling tinggi. Sedangkan serbuk kayu adalah limbah dari industri yang telah dihaluskan dan telah dilakukan perlakuan khusus (*treatment*) pada serbuk kayu. Pengujian komposisi serbuk kayu juga dilakukan untuk mengetahui kandungan yang ada dalam serbuk kayu. Pengujian pada serbuk kayu dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Adapun tahapan identifikasi *filler core material* yang akan dipakai yaitu :Tabel 3.1 menunjukkan variasi komposisi penggunaan Resin dengan serbuk kayu.

1. Penghalusan

Peroses penghalusan serbuk gergaji ini dilakukan dengan cara di blender serbuk kayu agar partikelnya menjadi semakin halus



Gambar 3. 2 Penghalusan serbuk kayu dengan menggunakan belender

Gambar 3.2 merupakan proses penghalusan material serbuk kayu sengon yang dilakukan secara manual dengan bantuan alat belender untuk menghaluskan gergagi serbuk kayu sengon

2. Proses pengeringan dilakukan untuk memastikan bahwa serbuk kayu yang akan dipakai memiliki tingkat kekeringan yang tinggi. Proses pengeringan dilakukan dengan bantuan oven. Proses pengeringan ini dilakukan selama 24 jam dengan suhu 110° celcius. (Daaam, Conference, Engineering, & Abstract, 2012)



Gambar 3. 3 Pengeringan dengan menggunakan oven

Gambar 3.3. menunjukkan peroses pengeringan material core serbuk kayu sengon dengan cara di oven selama 24 jam.

Setelah melakukan proses pengeringan dengan bantuan oven, langkah selanjutnya adalah penimbangan, dimana penimbangan ini bertujuan untuk mengukur massa dari serbuk cangkang kerang setelah dilakukan pengeringan.



Gambar 3. 4 Penimbangan setelah pengeringan

Gambar 3.4 merupakan peroses penimbangan serbuk gergaji kayu sengon penimbangan material dilakukan sebelum material di oven dan dilakukan lagi setelah di oven untuk mengetahui seberapa besar pengurangan kadar air yang terkandung dalam serbuk kayu sengon

3. Pengayakan

Pada tahap ini, serbuk cangkang kerang dilakukan proses pengayakan atau penyaringan untuk mendapatkan serbuk kayu yang halus. Pengayakan dilakukan dengan bantuan mesin, pada proses ini dilakukan pemisahan berdasarkan ukuran partikel daripada serbuk kayu. Pada penelitian ini digunakan ukuran mesh yaitu ukuran mesh 10, 16, 40, 50, 100 dan 200.



Gambar 3. 5 Proses pengayakan dengan berbagai ukuran mesh

Gambar 3.5 merupakan proses pengayakan serbuk kayu sengon yang dilakukan menggunakan mesin pengayak bertujuan untuk memisahkan ukuran partikel serbuk kayu sengon semakin kecil ukuran serbuk kayu sengon akan semakin baik untuk digunakan sebagai campuran core inti.

4. Uji komposisi

Uji komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia daripada serbuk kayu yang akan digunakan. Pengujian komposisi dilakukan dengan metode *X-Ray Flourescence* (XRF).

Tabel 3. 1 Persentase Variasi komposisi Core

Komposisi	Total adonan (gr)	Resin		Serbuk kayu (gr)
		Epoxy (gr)	Hardener (gr)	
5 %	600	427.5	142.5	30
10 %	600	405	135	60
13 %	600	391.5	130.5	78
15 %	600	382.5	127.5	90
20 %	600	360	120	120

Tabel 3.1 menunjukkan variasi komposisi antara Resin dengan serbuk kayu pada penelitian ini untuk *core material* 5% menggunakan 90% Resin dan 5% serbuk kayu, sama halnya dengan *core material* 5 dimana menggunakan 80% Resin dan 20% serbuk kayu, sedangkan penggunaan hardener adalah 3 : 1 dari resin.

3.2.1. Pengujian densitas core material

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari *core material* yang akan di gunakan. Standarisasi LR menetapkan bahwa densitas *core material* adalah $\geq 1.000 \text{ kg/m}^3$.

Pengujian densitas mengapa dilakukan karena disini kita harus mengetahui kepadatan dari material *sandwich plate system* berdasarkan ISO 845. Dimana dimensi dibentuk secara manual dengan jelas untuk memudahkan dalam perhitungan volume pada material. Nilai berat volume yang dihasilkan akan menjadi faktor pengali untuk mendapatkan nilai berat untuk pengaplikasian pada konstruksi kapal.



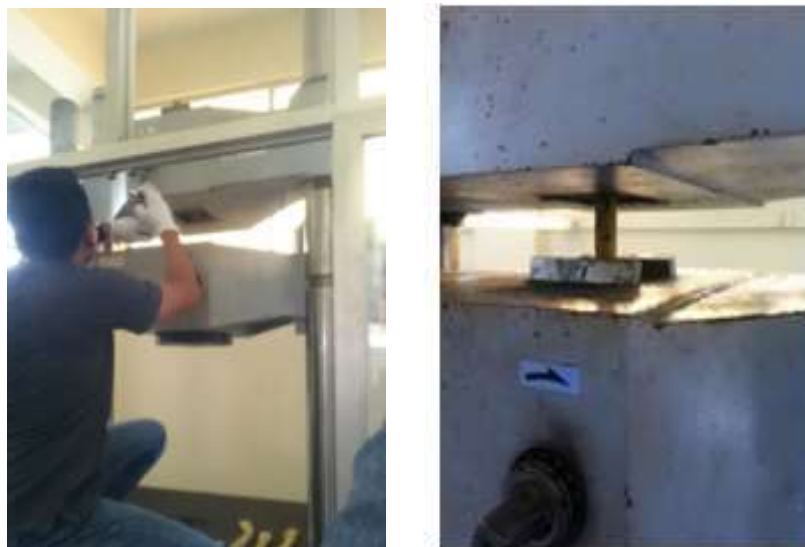
Gambar 3. 6 Pengujian densitas *core material*

Gambar 3.6 menunjukkan proses pengujian densitas *core material* dalam bentuk *solid*, dimana berat material inti dilakukan sebelum dilakukan pembentukan spesimen pengujian tarik untuk semua jenis variasi *core material*.

3.2.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material tersebut yang akan diuji. Spesimen benda uji yang merupakan plat maka akan dibentuk menjadi spesimen benda uji yang di buat sesuai dengan aturan ASTM D638.

Pengujian tarik dipilih karena akan menghasilkan nilai batas kekuatan dari material sampai dengan bentuk kegagalan material. Pengujian kekuatan tarik pada penelitian ini dilakukan pada alat uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas maksimum beban mencapai 100 Ton. Gambar 3.7 berikut ini menunjukkan proses pengujian tarik dari pada *core material*.



Gambar 3. 7 Pengujian tarik *core material*

Gambar 3.7 menunjukkan peroses pengujian tarik *core material* dimana spesimen uji dimasukkan secara manual satu persatu dan di jepit di kedua sisi atas dan bawah, sedangkan alat uji menggunakan UTM. Pengujian dilakukan sebanyak

5 spesimen per komposisi core materail dimana core 5% diuji secara 5 kali dengan 5 sampel dan selanjutnya dilakukan sama sampai material core 20% kemudian pemilihan *core material* ditentukan berdasarkan nilai kekuatan tarik, dengan nilai kekuatan material tidak kurang dari kriteria nilai yang ditetapkan oleh LR.

3.2.3 Pengujian kekerasan

Kekerasan sebuah material dapat didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis. Kekerasan dapat juga diartikan menjadi berbagai macam definisi, yaitu :

- Ketahanan terhadap penekanan di bawah beban statik atau dinamik
- Energi yang diserap ketika diberikan beban impak
- Ketahanan terhadap penggoresan
- Ketahanan terhadap abrasi
- Ketahanan terhadap pemotongan dan pengeboran

Syarat untuk benda yang akan diuji kekerasannya adalah :

- Ketebalan pemotongan harus sesuai dengan ketebalan material
- Permukaan uji harus datar
- Permukaan uji harus bersih dari lapisan-lapisan lain yang mungkin mempengaruhi kekerasan material
- Permukaan material dan benda penguji (indenter) diusahakan membentuk bidang tegak lurus
- Beban penguji harus memiliki harga kekerasan yang lebih besar dari material yang ingin diuji agar tidak terjadi deformasi plastis pada benda penguji.
- Ukuran benda penguji harus lebih kecil daripada material yang diuji agar tidak terjadi perubahan lain dari material, misalnya pembengkokan.
- Pengujian dilakukan beberapa kali di beberapa tempat agar nilainya lebih mewakili dari seluruh permukaan.

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada alat uji shore D dengan standarisasi DIN 53505 ≥ 65 RT



Gambar 3. 8 Pengujian kekerasan *core material*

Gambar 3.8 menunjukkan alat uji kekerasan shore D dan proses pengujian kekerasan dimana shore D di tekan ke material uji atau spesimen selama lebih kurang 3 detik dan dilakukan pada beberapa titik pengujian.

3.2.4. Pengujian Tekan (Compression Test)

Kekuatan tekan material adalah gaya per satuan luas yang dapat menahan kompresi dan ketika batas kuat tekan tercapai, maka bahan akan terdeformasi atau mengalami perubahan bentuk. Pada uji tekan umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tarik. Peralatan yang digunakan untuk percobaan ini hampir sama dengan yang digunakan dalam uji tarik yang lebih sering dilakukan pengukuran. Namun, bukan menerapkan beban tarik, melainkan beban tekan. Spesimen (bahan uji) biasanya berbentuk silinder atau balok.

Berikut adalah prosedur pengujian tekan pada material:

- Ukur dan catat panjang, lebar serta tinggi sampel yang akan di uji.
- Letakkan sample pada permukaan mesin uji tekan, pastikan sampel dalam kondisi lurus, tidak miring, serta berada tepat ditengah area pembebanan.
- Atur permukaan alat penekan pada mesin hingga bersentuhan dengan permukaan sampel.

- Berikan beban tekan pada material hingga material mengalami deformasi atau hingga patah.



Gambar 3. 9 Pengujian Tekan *core material*

Dari Gambar 3.9 menunjukkan, prinsip kerja yang dilakukan adalah specimen diberikan beban sedikit demi sedikit secara teratur, hingga specimen mengalami deformasi atau patah. Pada praktiknya, hampir sama dengan prinsip kerja pengujian tarik yang kebanyakan dilakukan, dimana semakin besar tegangan(stress) yang diberikan, maka semakin besar pula regangan(strain) yang ditimbulkan. Dengan kata lain, berbanding lurus antara keduanya

3.3. Metode pembuatan sandwich panel

Dalam pembuatan *sandwich panel*, yang dimulai dari identifikasi jenis material *faceplate* yang digunakan, dilanjutkan dengan kalkulasi ketebalan setiap lapisan yang akan dibuat sesuai dengan kapal yang menjadi objek dalam penelitian dan dilanjutkan pada proses pekerjaan model pembuatan *sandwich panel* sampai dengan persiapan spesimen dalam metode eksperimen. Dalam pembuatan sandwich ini dilakukan dengan *hadmade*.

3.3.1. Identifikasi material *faceplate*

Identifikasi material *faceplate* dilakukan karena untuk mengetahui jenis material baja yang akan digunakan, dengan mengetahui jenis baja yang akan digunakan maka dapat dilihat faktor kekuatannya yang merupakan suatu koefisien yang akan digunakan dalam *sandwich plate system*. Identifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah *core material* inti bisa melekat atau menempel pada *faceplate* material baja.

3.3.2. Persiapan material *faceplate*

Material *faceplate* yang telah diidentifikasi, selanjutnya akan dibentuk sesuai dengan konstruksi *sandwich panel*. Sebelum material dipasang terlebih dahulu material harus dipotong sesuai dimensi yang akan digunakan, setelah pemotongan material plat selanjutnya akan dilakukan pengkabrasan pada permukaan *faceplate* sehingga permukaan pelat akan lebih kasar, pengkabrasan ini bertujuan agar bisa menghasilkan ikatan antara plate dengan inti core tanpa adanya bahan perekat.



Gambar 3. 10 Proses kabras permukaan plate

Pada Gambar 3.10 menunjukkan proses persiapan *faceplate* sebelum disatukan pada cetakan, dimana dalam gambar tersebut menunjukkan proses pengkasaran permukaan, hingga pembersihan permukaan *faceplate* yang dilakukan secara manual, selanjutnya pekerjaan dilanjutkan pada penyetelan *faceplate* di dalam cetakan *sandwich panel*.

3.3.3 Kalkulasi ketebalan *sandwich panel*

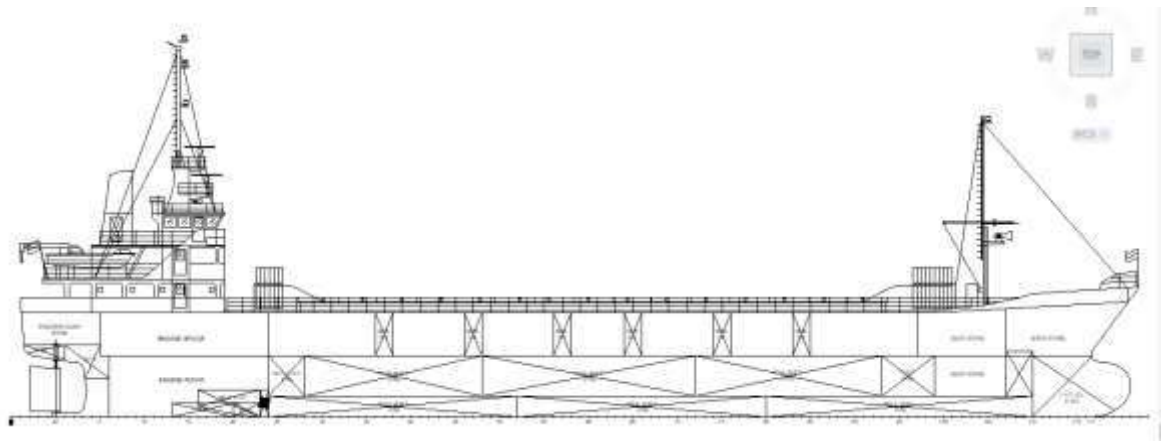
Kalkulasi perhitungan *sandwich panel* dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.1) sampai dengan (2.2) yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Perancangan ketebalan *sandwich panel* diasumsikan untuk keperluan pembangunan kapal baru, sehingga kalkulasi perencanaan konstruksi mengacu pada persyaratan pembangunan kapal yang telah ditetapkan oleh LR.

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang menerapkan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal. *Intelligent Engineering* (2015) menunjukkan dalam *project portfolio*-nya, beberapa penggunaan material *sandwich panel* digunakan pada kapal penumpang, seperti *Sea princes passenger ship* dengan ukuran ketebalan material (8-20-Existing) pada bagian struktur *top tank* pada bagian paralel midle body kapal. Selain itu *DSME Roro vessel* dengan ketebalan *sandwich panel* (6-25-Existing), dengan tujuan mereduksi suara dan getaran dari kamar mesin dan mengurangi berat kapal.

Berdasarkan hal tersebut, pemilihan jenis kapal dalam penerapan *sandwich panel* ini menggunakan jenis kapal general cargo, dengan ukuran panjang kapal (LOA) tidak lebih dari 80 meter.. Kapal tersebut akan digantikan struktur pelat datarnya dari kondisi konvensional menggunakan pelat baja menjadi material *sandwich panel*. Adapun *principle dimension* dari kapal tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 2 *Principle dimension* kapal

Type	Container
Length Over All (LOA)	75,5 m
Length (Lpp)	70 m
Breadth (B)	12,5 m
Draft	3,9 m
Gross Tonnage	499 T
Dead Weight	1571 T
Main Engine	1800 PS
Speed	14 KT
Class	BKI



Gambar 3. 11 General Arrangment

3.3.4 Persiapan Molded *sandwich panel*

Proses pembuatan *sandwich panel* dilakukan secara *handmade* dimana terlebih dahulu di siapkan bahan-bahan yang akan digunakan diantaranya epoxy resin, serbuk kayu, pewarna dan bahan pembuat molded seperti karton, gunting, lem dan lain-lain. Sedangkan untuk membuat *sandwich panel* dilakukan dengan metode pengecoran secara langsung terhadap *faceplate* pada material.

Untuk pembuatan spesimen uji *sandwich panel*, harus dibuat cetakan dasar dari bahan karton dan ukuran dimensional dari spesimen uji yang akan dilakukan. Gambar 3.12 Menunjukkan bahan baku dan bentuk cetakan yang akan di lakukan dalam pembuatan material *sandwich panel* ini.



Gambar 3. 12 Persiapan pembuatan *Sandwich Panel*

Gambar 3.12 merupakan bahan baku berupa epoxy resin, hardener dan bentuk cetakan sandwich panel yang dibuat berdasarkan handmade dari karton yang di buat secara manual.

Cetakan *sandwich panel* yang telah selesai kemudian dipersiapkan untuk digunakan dalam pekerjaan pembuatan *sandwich panel*. Pada tahap selanjutnya dilakukan pembuatan *core material* dengan bahan baku yang telah disiapkan pada tahap sebelumnya. Langkah pertama adalah menghitung volume spesimen uji yang akan dicetak, kemudian menentukan volume dan berat epoxy resin dan serbuk kayu. Setelah itu bahan di campur menjadi satu dan diaduk sampai rata. Gambar 3.13 menunjukkan proses pembuatan *core material*.



Gambar 3. 13 Proses pembuatan *core material sandwich panel*

Gambar 3.13 menunjukkan peroses pembuatan *sandwich panel* dimana serbuk kayu sengon yang telah di beri pelakuan khusus di timbang dan di campur dengan epoxy resin kemudian di tuangkan kedalam cetakan *sandwich panel*.

3.3.5. Pembukaan cetakan

Proses pembukaan cetakan *sandwich panel* dilakukan secara bertahap. Dimana tahap pertama dilakukan dengan membuka karton yang menutup bagian kedua ujung *sandwich panel* kemudian dilanjutkan dengan pembukaan karton bagian dasar spesimen uji.

Setelah selesai proses pembukaan *molded* cetakan harus di bersihkan sisa-sisa karton yang masih menempel pada ujung dan dasar spesimen uji dengan menggunakan gerinda agar sisa karton yang melekat pada spesiman bisa dihilangkan dengan bersih.

3.4. Metode identifikasi *sandwich panel*

Identifikasi *sandwich panel* selain dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik material penyusun dari adanya penggabungan komponen material, juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besar batas nilai tegangan yang akan menghasilkan kegagalan pada material *sandwich panel*. Beberapa pengujian dilakukan, seperti pengujian densitas, pengujian tarik material dan pengujian lentur.

3.4.1. Pengujian densitas *sandwich panel*

Pengujian densitas *sandwich panel* ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat volume dari material *sandwich panel* yang terdiri dari lapisan *faceplate* dan inti *core material*. Standarisasi pengujian mengacu pada pengujian densitas ISO 845. Nilai berat volume yang dihasilkan nantinya akan menjadi faktor pengali untuk mendapatkan nilai berat dari pengaplikasian material *sandwich panel* pada konstruksi kapal. Gambar 3.14 menunjukkan material *sandwich panel* dilakukan pengujian densitas.



Gambar 3. 14 Pengujian densitas material sandwich panel

Gambar 3.14 merupakan *sandwich panel* yang dilakukan proses penimbangan untuk mengetahui density dari *sandwich panel* itu sendiri

3.4.2. Pengujian bending sandwich panel.

Pengujian bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan hasil perekatan antara inti core dan *faceplate* material. Standarisasi pengujian menggunakan ASTM C 393 yang merupakan standarisasi pengujian bending untuk bentuk material *sandwich panel* bisa dilihat pada gambar 3.15 merupakan proses pengujian lentur pada material *sandwich panel*.



Gambar 3. 15 Pengujian lentur pada material sandwich panel

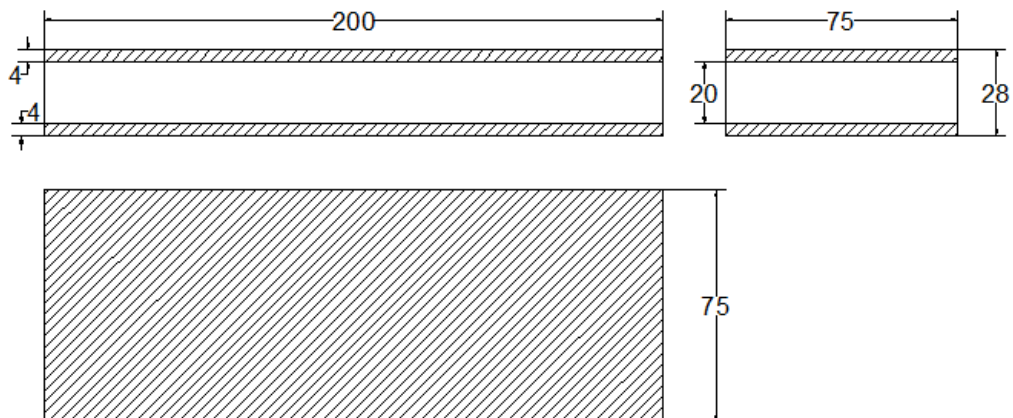
Pada Gambar 3.15 alat pengujian yang digunakan adalah mesin uji tarik yang diberikan tambahan dudukan untuk dapat dilaksanakan pengujian lentur pada material *sandwich panel*. Pengujian lentur dilakukan pada beberapa spesimen dari setiap hasil variasi komposisi material inti dari *sandwich panel* yang telah dikalkulasikan sebelumnya. Hasil dari pengujian ini adalah pola bentuk grafik hubungan antara tegangan lentur yang dihasilkan dengan *deflection* yang terjadi pada spesimen. Nilai tegangan lentur (σ_t) dan defleksi (Δ) yang dihasilkan menjadi dasar penentuan batas tegangan dan lendutan dari pengaplikasian *sandwich panel* pada konstruksi kapal.

3.5. Pemilihan jenis core material *Sandwich Panel*

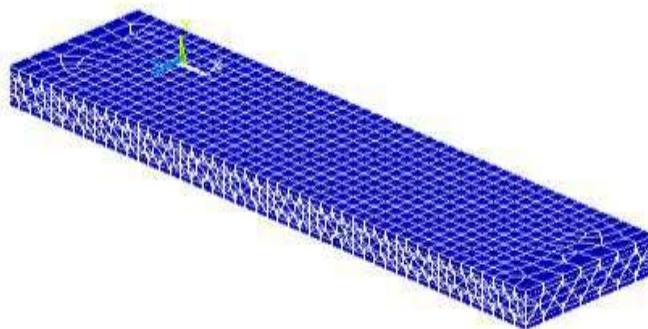
Pada tahap ini melakukan pemilihan jenis core material serbuk kayu sengan pada *sandwich panel* dengan kriteria berdasarkan densitas, kekuatan tarik *core material*, tensile modulus, kekerasan dan elongation.

3.6. Pemodelan menggunakan *software finite element*

Pemodelan *sandwich panel* adalah membuat bentuk *sandwich panel* menggunakan *software* berbasis *finite element methode*, pada penelitian ini menggunakan *finite elemen modelling*. Model *sandwich panel* ini kemudian akan dilakukan proses analisa struktur dan *modal analysis* untuk mengetahui tegangan maksimum yang akan terjadi pada material *Sandwich panel* untuk setiap komposisi core material dan untuk mengetahui karakteristik dinamika material tersebut dari proses *modal analysis*. Gambar 3.17 merupakan model *Sandwich Panel* dengan menggunakan FEM.



Gambar 3. 16 Ukuran model uji



Gambar 3. 17 Model Elemet *Sandwich panel*

Model yang dibuat memiliki panjang 240 mm x 60 mm. Berdasarkan jarak konstruksi antar *girder* dengan mengurangi keberadaan *stiffner* dan tidak mengurangi *stiffner* Karakteristik material yang digunakan pada *face plate* adalah baja dan core materialnya komposite yang terdiri dari serbuk kayu sengon dengan campuran epoxy resin sebagai perekat dengan masing-masing nilai propertis dari setiap komposisi.

3.7. Pengujian Getaran Sandwich Panel

Persiapan yang akan dilakukan untuk pengujian getaran adalah dengan membuat dudukan tempat spesimen yang kondisi setiap sisi di jepit dengan menggunakan baut kemudian dudukan di jepit pada mesin *fraise* agar kondisinya tidak berubah dan untuk mengurangi efek guncangan apabila spesimen diuji.

Dudukan cetakan ditempatkan pada mesin *fraise* yang diperkuat dengan sisi kanan dan kiri di kencangkan menggunakan baut. Pada bagian tengah dudukan dibuat lubang yang berfungsi sebagai lokasi untuk melakukan pengujian getaran dimana spesimen uji di pukul berulang kali dengan jeda waktu kurang lebih 30 detik menggunkana palu khusus uji getaran. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.18 untuk kondisi dudukan dan posisi spesimen uji.



Gambar 3. 18 Dudukan untuk pengujian getaran

3.7.1 Pengujian Getaran Panel Sandwich

Untuk proses pengujian getaran pertama kita harus mempersiapkan peralatan yang akan digunakan dalam proses pengujian getaran, peralatan yang mendukung pengujian getaran ini antara lain:

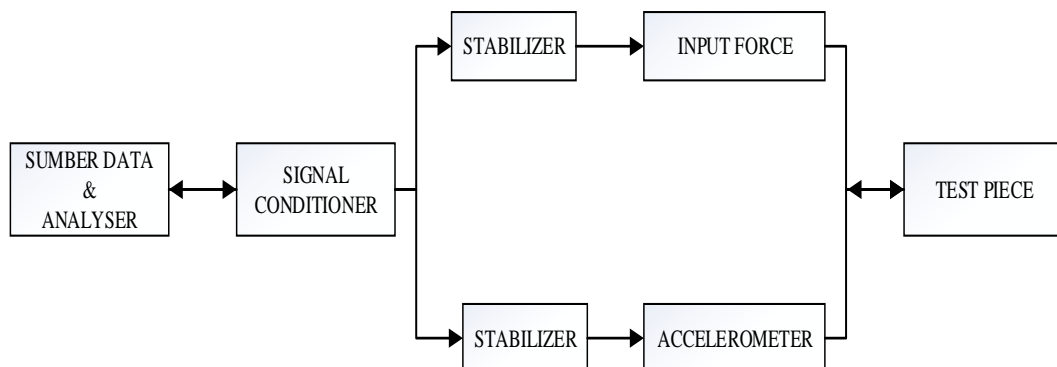
- Sumber daya : Laptop lenovo
- Analyser : Software PicoScope 6 ver 6.11.12.1692
- Hammer : Omega IH 101-1K



Gambar 3. 19 peralatan uji getaran

Gambar 3.19 merupakan peralatan pendukung pengujian getaran dimana terdapat laptop, picoscope dan hammer khusus omega IH 101-1K

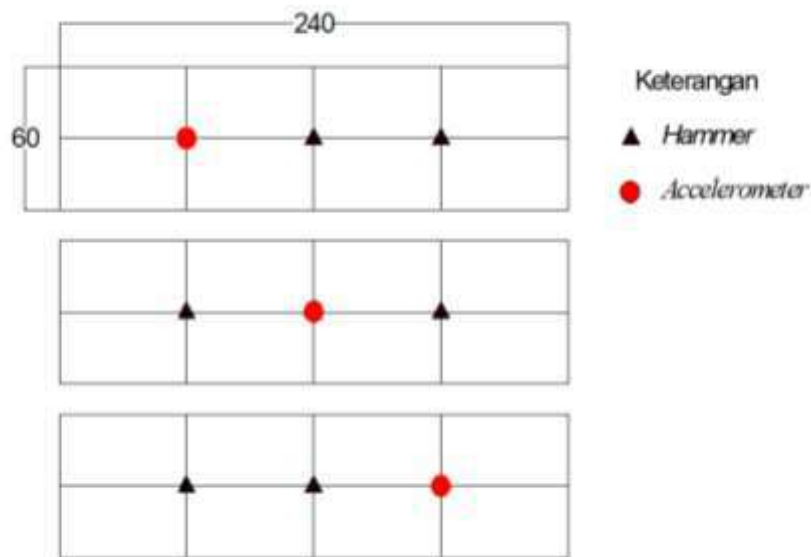
Pengujian ini menggunakan *Experiment Modal Analysis* dengan metode *impact input* dan *piezoelectric accelerometer*. Gambar 3.20 menggambarkan bagan alur pengujian untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material *sandwich panel*.



Gambar 3. 20 Set up penelitian yang digunakan dalam pengujian

Gambar 3.20 menunjukkan alur proses pengujian getaran dimana diawali dengan sumber data dan operator kemudian dihubungkan ke *stabilizer* melalui *signal conditioner* dilanjutkan ke *accelerometer* yang ditempelkan pada spesimen uji dan *input force* berupa palu khusus yang di pukulkan ke spesimen uji

Pengujian getaran *Panel* ini adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari material *Sandwich Panel* itu sendiri. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data untuk setiap posisi *hammer* sebanyak 6 kali. Gambar 3.21 adalah ilustrasi pengambilan data dari pengujian getaran material *sandwich panel*.



Gambar 3. 21 Ilustrasi pengambilan data

Pada gambar 3.21 adalah ilustrasi pengambilan data pada pengujian getaran ini. Pertama-tama, panel di beri garis dengan jarak 60 mm membentuk kotak-kotak seperti diatas. segitiga hitam menunjukkan posis eksitasi *hammer* pada panel sedangkan titik-titik merah menunjukkan posisi *accelerometer*. Posisi pengambilan data diatas diambil sebanyak mungkin agar *mode* getaran yang terjadi pada panel dapat terambil datanya pada pengujian ini, perlu di perhatikan dalam pengambilan data pengujian bahwa untuk pukulan palu ke spesimen uji harus di perhatikan rentan waktu pemukulan palu agar tidak ada getaran sisa dari pukulan palu sebelumnya sekurang-kurangnya 30 detik rentan waktu yang dilakukan.

3.7.2 Pembuatan Cacat pada Core

Pada tahap ini dilakukan pembuatan cacat (*crack*) pada bagian *core* dengan bentuk sesuai dengan kerusakan yang terjadi pada saat dilakukan pengujian lentur yaitu dengan kerusakan pada *core* berbentuk melintang sepanjang 35 mm dan dilanjutkan dengan kerusakan berbentuk vertikal setinggi tebal dari *core* yaitu 15 mm. Gambar 3.22 menggambarkan proses pembuatan cacat pada *core* dari material *sandwich panel*.

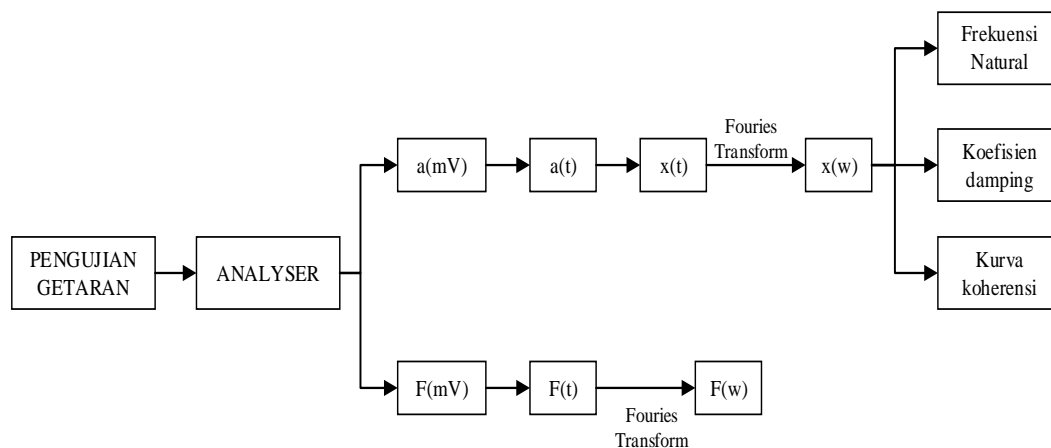


Gambar 3. 22 Proses membuat cacat pada *core Sandwich panel*

Gambar 3.22 menunjukkan peroses pengujian cacat pada core material sandwich panel dimana sebelum peroses pengujian spesimen di beri cacat dengan cara di bor langsung ketika spesimen pada kondisi sudah di jepit ini dikarenakan agar kekuatan jepit tidak berubah dari sebelumnya di uji pada kondisi tidak cacat.

3.7.3 Proses Pengolahan Data Uji Getaran

Data yang didapat dari pengujian tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan analisa. Data harus diolah terlebih dahulu menggunakan teori-teori dan formula yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Pada penelitian kali ini penulis mengolah data dengan bantuan *software* matematis. Adapun bagan dari pengolahan data hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3. 23 Bagan pengolahan data.

Gambar 3.23 menunjukkan bagan alir peroses pengolahan data yang didapat dari pengujian getaran dimana data input berupa time domain atau amplitode yang dibaca *softwere picoscope* kemudian data berupa amplitude diubah menjadi text file selanjutnya data text file diinput kedalam matchcad, dimana matchcad digunakan agar mempermudah peroses pengolahan data untuk mendapatkan frekuensi natural, koefiseien damping dan kurva kohorensi.

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Hasil Identifikasi Core Sandwich Panel

Core material yang digunakan merupakan material limbah dari perabotan mebel yang biasanya hanya dibuang. Selama ini limbah serbuk kayu banyak menimbulkan masalah dalam penanganannya yang selama ini dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang kesemuanya berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif. Oleh karena ini dibuat *sandwich panel* dengan memadukan beberapa komposisi yaitu resin dan serbuk kayu sehingga menjadi satu inti core, pada penelitian sebelumnya telah dibahas bahwa material resin dapat diaplikasikan sebagai pelat baja.

4.1.1 Identifikasi Komposisi Core Material

Sebelum menentukan perbandingan yang akan digunakan pada *core material Syntheticresin*, perlu diketahui fungsi dari masing-masing bahan utama yang digunakan pada *synthrticresin*. *Epoxy resin* merupakan bahan perekat yang mudah dibentuk sesuai dengan bentuk cetakan, resin jenis ini merupakan jenis resin yang tahan terhadap air dan juga kuat. Sedangkan serbuk kayu sengon adalah bahan pengisi, pembuat kaku, dan pengental Resin, material inti pada *syntheticresin* yang digunakan memerlukan kekakuan sehingga menggunakan serbuk kayu sengon sebagai bahan campuran pada resin. Selain itu penggunaan serbuk kayu sengon sebagai pengental dan pengisi dari resin sehingga resin tidak terjadi tetesan pada cetakan dan adonan resin menjadi lebih padat. Bahan selanjutnya adalah hardener yang berfungsi sebagai pengering agar material menjadi keras. Sebelum serbuk kayu sengon di campur dengan *epoxy resin* harus di beri pelakuan khusus terlebih dahulu seperti di oven agar menghilangkan kadar air dalam serbuk kayu selanjutnya di ayak agar partikel serbuk kayu menjadi halus.

1. Pengeringan

Proses pengeringan dilakukan dengan cara pengovenan material serbuk kayu sengon dimana material di oven selama 24 jam dengan suhu 110°C .

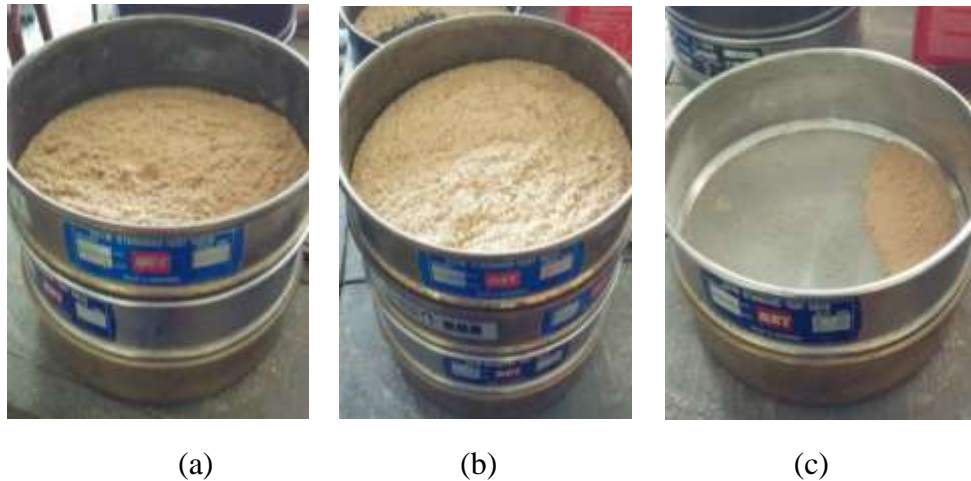


Gambar 4. 1 (a) Berat sebelum pengeringan, (b) Berat setelah pengeringan

Gambar 4.1 merupakan peroses penimbangan serbuk gergaji kayu sengon penimbangan material dilakukan sebelum material di oven dan dilakukan lagi setelah di oven untuk mengetahui seberapa besar pengurangan kadar air yang terkandung dalam serbuk kayu sengon dimana berat sebelum dioven 4345 gram dan setelah di oven 4340 gram jadi mengalami penurunan berat sekitar 5%.

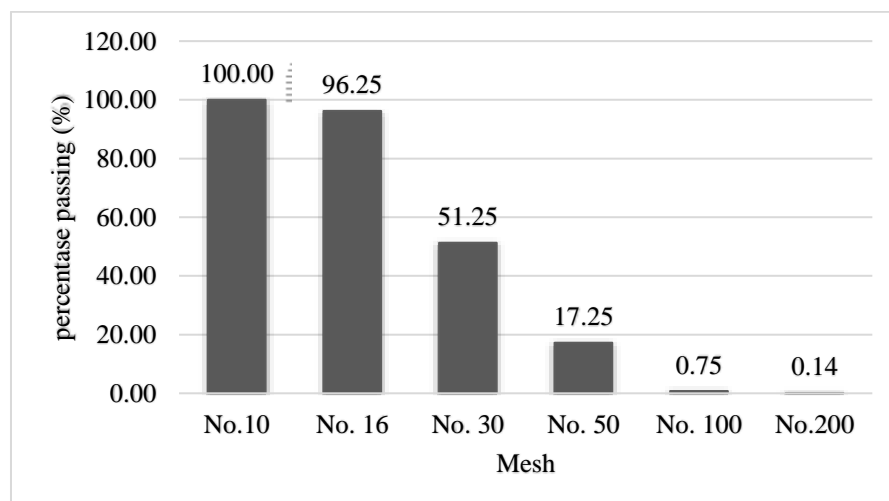
2. Pengayakan

Proses pengayakan pada penelitian ini adalah dari material yang melalui proses penghalusan dan oven, pada penelitian ini digunakan beberapa ukuran mesh diantaranya 10, 16, 30, 40, 50, 100, dan 200 semakin kecil ukuran mesh akan semakin bagus dimana bisa dikatakan material bisa tercampur dengan merata apabila ukuran mesh semakin kecil. Mesh adalah jumlah lubang yang terdapat dalam ayakan tiap 1 inci persegi, Jadi kalo ada ayakan yang ada keterangan 5 mesh artinya tiap 1 inci persegi terdapat 5 lubang. Kesimpulannya, makin besar jumlah mesh berarti ukuran lubang akan semakin kecil.



Gambar 4. 2 Partikel yang tertinggal dalam ayakan (a) mesh 30, (b) mesh 50, (c) mesh 100

Gambar 4.2 merupakan gambaran ayakan yang digunakan untuk mengayak serbuk kayu sengon dimana proses pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin getar. Di dalam penelitian sebelumnya menerangkan bahwa semakin kecil ukuran serbuk kayu sengon atau semakin halus ukuran serbuk maka semakin baik ketika menjadi sebuah isian dalam suatu campuran. Semakin halus isian dapat meningkatkan kekuatan tarik, karena ukuran isian dapat menahan beban yang lebih tinggi. Isian yang halus menyebabkan *area of interfacial* menjadi lebih tinggi. (Yusof and Afifi, 2014).

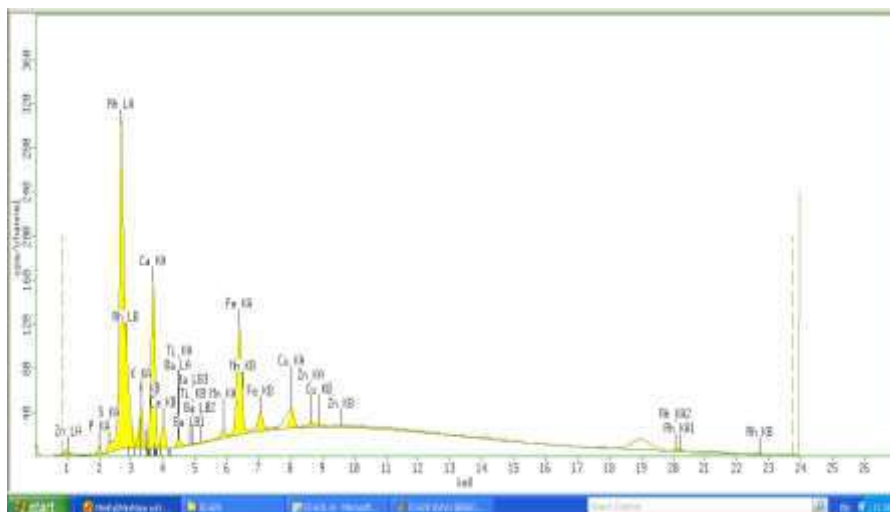


Gambar 4. 3 Grafik persentase *passing* partikel serbuk kayu sengon

Gambar 4.3 menunjukkan persentase serbuk kayu sengon yang lolos dari ukuran mesh. Pemilihan ukuran mesh juga berdasarkan pada jumlah serbuk kayu yang lolos terhadap ukuran mesh tertentu sehingga tidak banyak serbuk kayu yang tersisa atau terbuang. Di dalam penelitian ini, pemilihan ukuran partikel serbuk kayu tidak hanya dilihat dari isian yang halus akan tetapi juga merujuk pada jumlah material yang tersisa, sehingga pada penelitian ini dipilih ukuran partikel yang lolos mesh 50.

3. Uji X-Ray Fluorescence (XRF)

Pengujian komposisi kimia dilakukan agar kita mengetahui komposisi yang terkandung dalam serbuk kayu sengon. XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur di lakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.



Gambar 4. 4 hasil pengujian XRF

Padagambar 4.4 dapat dilihat hasil dari pengujian XRF pada serbuk kayu sengon. Pada gambar terlihat kandungan kalsium atau Ca sangat tinggi, adapapun persentase kandungan bahan lainnya dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Komposisi kimia serbuk kayu sengon

Compound	Concentration	Unit
S	`1.4	%
K	12.4	%
Ca	56.3	%
Ti	2.9	%
Mn	1.5	%
Fe	18.1	%
Cu	3	%
Zn	0.69	%

Pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa persentase kalsium atau Ca pada serbuk kayu sengon mencapai 56,3 %, dimana ini menunjukkan bahwa kandungan pada serbuk kayu sengon paling dominan adalah kalsium dan kondisi ini sama seperti pada kandungan talek yang memiliki kandungan Ca yang tinggi.

Penentuan komposisi material inti yang digunakan seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan variasi campuran pada material serbuk kayu dan epoxy resin untuk mendapatkan komposisi terbaik yang akan digunakan pada struktur kapal cargo. Pada penelitian ini menggunakan variasi perbandingan campuran epoxy resin dengan serbuk kayu dibawah nilai yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya yaitu 5% - 20% perbandingan berat antara resin dan serbuk kayu. Harapan dari pemilihan variasi komposisi ini adalah untuk memperoleh material inti yang lebih baik dari segi kekuatan untuk diaplikasikan pada konstruksi kapal khususnya untuk konstruksi plat datar.

Pada tabel 4.2 menunjukkan perbandingan komposisi antara epoxy resin, serbuk kayu dan hardener dengan cetakan untuk spesimen uji tarik pada *core material*.

Tabel 4. 2 Komposisi core Material

komposisi	Total adonan (gr)	Resin		Kayu (gr)
		Epoxy (gr)	Hardener (gr)	
0 %	600	450	150	0
5 %	600	427.5	142.5	30
10 %	600	405	135	60
13 %	600	391.5	130.5	78
15 %	600	382.5	127.5	90
20 %	600	360	120	120

Perbandingan variasi komposisi epoxy resin dan serbuk kayu yang ditunjukkan pada tabel 4.2 bahwa *core material* 5 % memiliki komposisi 95% epoxy resin dan 5% serbuk kayu, sedangkan pada *core material* 2 memiliki komposisi 90% epoxy resin dan 10% serbuk kayu. Dapat disimpulkan bahwa perbedaan komposisi serbuk kayu sengon yang digunakan dapat menyebabkan kekakuan pada *syntheticresin*, sehingga semakin banyak jumlah serbuk kayu sengon yang digunakan pada campuran Resin membuat *core material* tersebut menjadi lebih kaku. Apabila dibandingkan dengan material inti yang tidak menggunakan serbuk kayu sengon memiliki kelenturan yang lebih tinggi.

4.1.2. Identifikasi Densitas *Core Material*

Pengujian densitas *core material* ini bertujuan untuk mengetahui berat *core material* itu sendiri, dimana kriteria berat jenis yang di tentukan oleh $LR \geq 1000$ kg/m³. Hasil dari pengujian berat volume yang dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil pengujian densitas *core material*

No	Komposisi Core Material	Densitas rata-rata (kg/m ³)	Memenuhi standart (LR)
1	0 %	1.246	√
2	5 %	1.086	√
3	10 %	1.081	√
4	13 %	1.067	√
5	15 %	1.053	√
6	20 %	1.024	√

Dari hasil yang ditunjukkan oleh tabel 4.3 bahwa secara keseluruhan dari hasil pengujian komposisi core material memenuhi standarisasi densitas yang ditetapkan oleh LR.

4.1.3. Pengujian Tarik Core Material

Pengujian tarik core material sesuai dengan standar menggunakan standarisasi ASTM D638. Pengujian tarik menggunakan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) adalah merupakan mesin atau alat pengujian yang berfungsi untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material. Universal Testing Machine, Mesin pengujian ini telah terbukti bahwa ia dapat melakukan tarik banyak standar dan tes kompresi pada bahan, komponen, dan struktur.

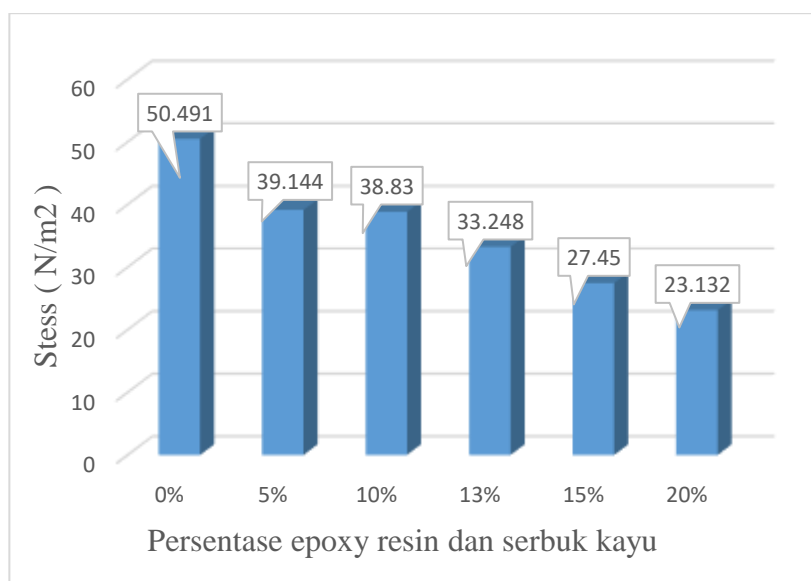
Cara kerja UTM adalah memberikan gaya tekan atau gaya tarik kepada terhadap bahan yang diujikan. Untuk melaksanakan pengujian tekan atau tarik terhadap material, kita memerlukan benda uji yang lainnya. Benda yang akan dilakukan pengujian itu dipasang pada mesin penguji dengan gaya tekan dan gaya tarik yang akan semakin bertambah besar akhirnya menekan dan menarik pada batang tersebut, maka batang ini akan menjadi pendek atau panjang. Metode pengujian ini menggunakan objek yang panjang dan diletakkan tepat pada bagian atas UTM dibawah top plate. Kemudian kunci objek dengan memutar bagian handwheel dan pastikan pengucian sudah kencang. Kemudian nyalakan Universal Testing Machine. Prinsip kerja dari UTM ini plate akan memberikan gaya tarik

pada objek sampai putus. Nantinya parameter pada UTM akan menunjukkan nilai atau data maksimal kekuatan pada material. Selain itu, anda juga bisa melihat perpanjangan objek yang diuji dengan membandingkan panjang objek dari sebelum dan sesudah diuji. Pada Gambar 4.5 menunjukkan material *core* setelah dilakukan pengujian tarik.



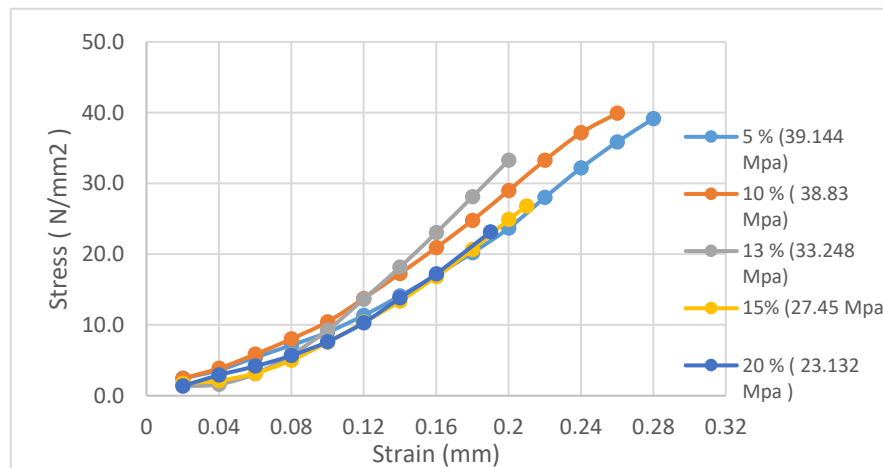
Gambar 4. 5 Bentuk spesimen uji setelah pengujian Tarik

Gambar 4.5 merupakan hasil dari pengujian tarik, dimana dari hasil diatas dapat dilihat bahwa matrial putus di bagian tengah dan memenuhi standart yang di ijinakan. Selain itu, pola grafik hubungan tegangan dengan regangan yang terjadi pada setiap komposisi material inti ditunjukkan pada Gambar 4.6 dengan perubahan komposisi serbuk kayu dapat menyebabkan nilai tegangan berbeda.



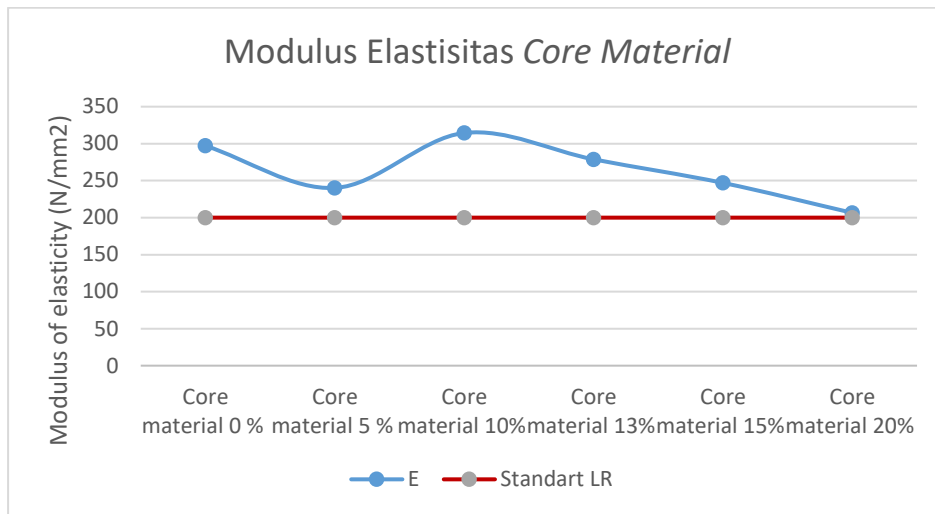
Gambar 4. 6 Tensile strenght of core sandwich panel

Dilihat dari gambar 4.6 dapat di simpulkan bahwa Pada kondisi tanpa campuran serbuk kayu 0% nilai *tensile strength* maksimal adalah 50.491 N/mm², kemudian terus menurun dengan bertambahnya volume campuran serbuk kayu sampai nilai maksimum pada persentase 20% yaitu bernilai 23.132 N/mm². Kekuatan tarik atau kekuatan mekanik akan menurun ketika penambahan campuran serbuk kayu terlalu banyak hal ini di pengaruhi bahwa dari pengikat material yang semakin berkurang karena sifat serbuk kayu yang menyerap material cair. Namun nilai hasil *tensile strength* pada *core sandwich* yang diteliti melebihi syarat minimum yang ditetapkan oleh Lloyd's Register yaitu 20 N/mm².



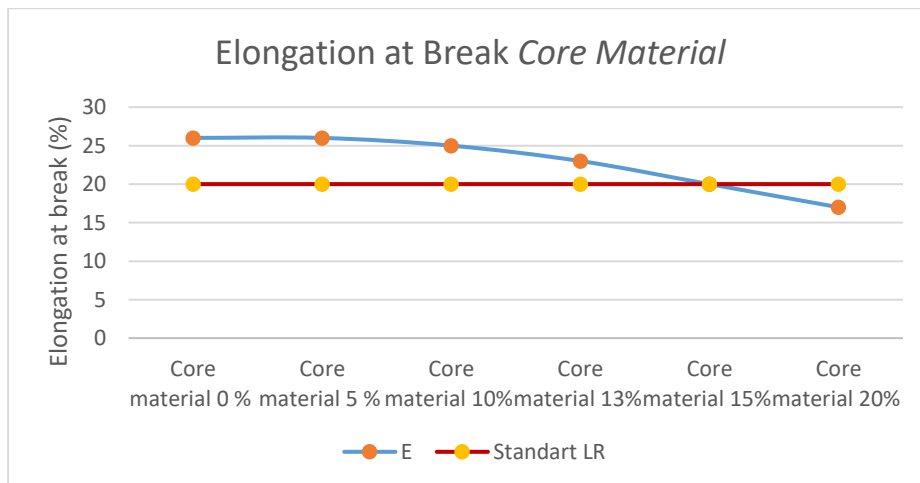
Gambar 4. 7 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada *core material*

Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan grafik hubungan tegangan dengan regangan yang terjadi pada *core material* semua komposisi. Dimana, berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan core 5 % yang lebih tinggi dibandingkan dengan *core material* lainnya, hal ini dipengaruhi oleh komposisi serbuk kayu yang paling sedikit dimiliki oleh *core material* 5% dari total campuran Epoxy Resin, sifat serbuk kayu yang menyebabkan adonan resin dapat menjadi kaku sehingga *core material* 5 % masih memiliki sifat lentur dari Resin yang dimiliki. Nilai regangan yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa *core material* 5% lebih lentur dibandingkan dengan komposisi material inti yang memiliki campuran serbuk kayu yang lebih banyak.



Gambar 4. 8 Grafik Modulus Elastisitas *core material*

Gambar 4.8 menunjukkan nilai modulus elastisitas pada pengujian tarik *core material*, dimana dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa nilai modulus elastisitas pada pengujian Tarik, bahwa ada peningkatan pada komposisi yang ke 0% 297.13 N/mm², 10 % dengan nilai 153.86 N/mm² kemudain terus menurun pada komposisi 13, 15 dan 20 %, jadi dapat di lihat komposisi serbuk kayu yang paling optimum pada komposisi 10% yaitu 153.86 N/mm².



Gambar 4. 9 Grafik Elongation at break *core material*

Pada gambar 4.9 dapat dilihat persentase *elongation at break* pada masing-masign campuran. *elongation at break*, juga dikenal sebagai strain fraktur, adalah rasio antara panjang yang berubah dan panjang awal setelah kerusakan dari spesimen uji. Ini mengekspresikan kemampuan untuk menahan perubahan bentuk

tanpa formasi retak. Menurut standard Lloyd Register menyebutkan bahwa besaran minimum elongation at break material core *sandwich* adalah $\geq 20\%$. Pada grafik diatas diketahui bahwa pada core 20% campuran core tidak memenuhi nilai standard LR.

Pengujian dilakukan pada setiap komposisi core material dengan jumlah uji spesimen minimal 7 spesimen, hasil uji tarik spesimen dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4. 4 Hasil uji tarik *core material sandwich*

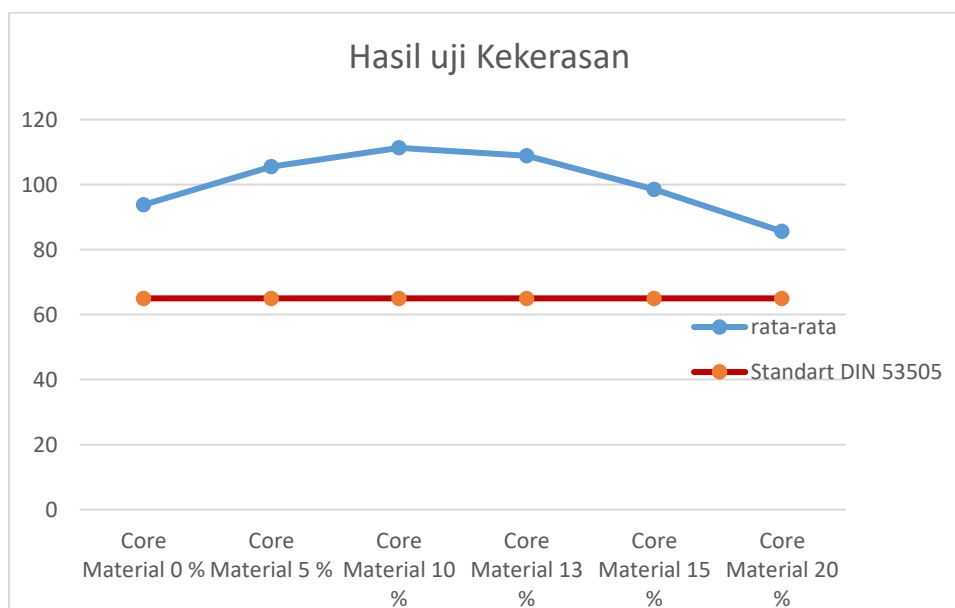
No.	komposisi	Tensile strength (N/mm ²)	Tensile Modulus (N/mm ²)	Elongation (%)	Memenuhi standart (LR)
1	0%	50.490	297,13	0.26	√
2	5%	39.144	240.22	0.26	√
3	10%	38.830	314.48	0.25	√
4	13%	33.248	278.81	0.23	√
5	15%	27.450	241.15	0.20	√
6	20%	23.132	205.82	0.17	x

Bedasarkan hasil tabel 4.4 uji tarik *core material* yang dilakukan dapat dilihat bahwa komposisi material 5% sampai dengan komposisi *core material* 15% memenuhi setandarisasi *class*, sedangkan komposisi core material 20% tidak memenuhi standarisai *class*. Nilai kekuatan tarik paling tinggi pada *core material* dengan komposisi 5% dimana hasil pengujian menjukaan angka 39.144 N/mm², dapat dilihat bahwa penambahan serbuk kayu yang hanya 10% dari Resin membuat kemampuan kekuatan tarik menurun dikarenakan material tersebut menjadi semakin getas apabila di campur dengan serbuk kayu sehingga semakin banyak penambahan serbuk kayu pada campuran epoxy resin kekuatan tariknya akan semakin turun. Tetapi pada nilai tersebut komposisi serbuk kayu 10% memiliki nilai modulus elastisitas yang besar yaitu 314.48 N/mm², maka dapat dilihat bahwa pada campuran 10% memiliki nilai tertinggi pada campuran epoxy resin dengan serbuk kayu.

4.1.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasn core material sesuai dengan standar menggunakan standarisasi DIN 53505. Uji kekerasan merupakan pengujian yang paling efektif karena dengan pengujian ini, kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanik suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada beberapa titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah digolongkan sebagai material ulet atau getas.

Uji keras juga dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas dan perlakuan dingin terhadap material. Material yang telah mengalami cold working, hot working, dan heat treatment, dapat diketahui gambaran perubahan kekuatannya, dengan mengukur kekerasan permukaan suatu material. Oleh sebab itu, dengan uji keras kita dapat dengan mudah melakukan *quality control* terhadap material.



Gambar 4. 10 Grafik uji kekerasn *core material*

Pada gambar 4.10 merupakan hasil pengujian kekerasan dimana setiap komposisi core yang digunakan memenuhi kriteria yang di berikan oleh DIN 53505.

4.1.5. Pengujian Tekan (Compression Test)

Pengujian tekan dilakukan untuk mempelajari sifat mekanik dari suatu material saat diberikan tekanan yang relative kecil. Biasanya dilakukan pada material yang diaplikasikan pada struktur yang mengalami beban tekan. Seperti beton dan baja. Pada tes ini, material diberikan beban tekan hingga mengalami deformasi atau patah. Untuk ukuran sampel yang digunakan, jika pada pengujin ini, sampel yang digunakan adalah jenis silinder dengan diameter 0,5 inch dan tinggi 1 inch sesuai standarisasi ASTM D695.



Gambar 4. 11 Grafik uji tekan *core material*

Gambar 4.11 merupakan hasil pengujian tekan core material bisa dikatakan hasilnya sama seperti pengujian tarik dimana setiap penambahan volume serbuk kayu sengon akan mengurangi kekuatan dari core material tersebut.

4.1.6 Hasil Identifikasi Core Sandwich Panel

Berdasarkan dari analisa identifikasi dari beberapa pengujian yang dilakukan pada *core material sandwich panel* yang dibuat, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4. 5 Identifikasi *Core Sandwich* berdasarkan kriteria LR

No.	komposisi	Densitas (kg/m ³)	Tensile Modulus (N/mm ²)	Kekerasan	Elongation (%)	Kontrol Kriteria
1	0%	1.246	297,13	93.8	0.26	√
2	5%	1.086	240.22	105.5	0.26	√
3	10%	1.081	314.48	111.3	0.25	√
4	13%	1.067	278.81	108.9	0.23	√
5	15%	1.053	241.15	98.5	0.20	√
6	20%	1.024	205.82	85.6	0.17	x

1. Nilai densitas dari *core material sandwich panel* dapat dilihat bahwa semakin bertambah volume serbuk kayu maka akan semakin ringan *core materialnya*, dan memenuhi kriteria dari LR.
2. Berdasarkan pengujian tarik pada *core material* didapatkan bahwa nilai modulus elastisitas pada setiap *core material* memenuhi kriteria LR dan mengalami kenaikan pada *core material* 10% sebesar 314.48 N/mm².
3. Nilai uji kekerasan secara keseluruhan memenuhi standarisasi DIN 53505, pada komposisi 10 % memiliki nilai kekerasan paling tinggi.
4. Pengujian tekan yang dilakukan menunjukkan bahwa material memiliki nilai kekuatan tekan yang cukup kuat.
5. Pemilihan persentase *filler* pada pembuatan *sandwich panel* sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan diambil yang terbaik yaitu 10% dan 13%.

Pada tabel 4.5 menunjukkan hasil identifikasi core material sandwich panel dapat dilihat bahwa pada komposisi campuran *core* 20% pada *elongation* tidak memenuhi standarisasi LR, maka akan diambil dua komposisi campuran serbuk kayu sengan dengan epoxy resin yang akan di buat sandwich panel yaitu pada komposisi campuran 10% dan 13% yang memiliki nilai modulus elastisitas terbaik dari beberapa campuran komposisi serbuk kayu sengan.

4.2 Analisa Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Identifikasi material *sandwich panel* dilakukan untuk mengetahui perubahan dari karakteristik material dari kondisi setiap material penyusunnya, dikarenakan material *sandwich panel* ini tersusun dari dua jenis material yang memiliki sifat berbeda, tentu akan menghasilkan nilai kekuatan yang berbeda, dengan melakukan identifikasi maka akan diketahui apakah bentuk lapisan akan memberikan peningkatan kekuatan atau sebaliknya.

4.2.1 Densitas Sandwich Panel

Hasil Analisa dari perhitungan *sandwich panel* biasa dilihat pada table 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Hasil densitas *sandwich panel*

No	Komposisi Core Material	Densitas rata-rata (kg/m ³)
1	10 %	3.397
2	13 %	3.252

Tabel 4.6 menunjukkan hasil dari densitas material *sandwich panel* berdasarkan komposisi core material dapat dilihat bahwa *sandwich panel* dengan komposisi core material 10 % sebesar 3.397 kg/m³ sedangkan komposisi 13 % 3.252 kg/m³. Densitas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan densitas baja konvensional 7.850 kg/m³. Pengurangan berat densitas sebesar 5%. Hal ini menunjukkan kombinasi bentuk material *sandwich panel* akan menghasilkan material yang lebih ringan dari kondisi berat material baja. Namun, hal ini tidak dapat dijadikan dasar untuk menyatakan bahwa penggunaan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal akan mereduksi berat dari konstruksi kapal. Hal ini dikarenakan luas permukaan yang sama antara penggunaan material baja pada suatu ketebalan tertentu yang digantikan dengan material *sandwich panel* dengan ketebalan yang lebih besar cenderung akan menghasilkan berat yang lebih besar.

4.2.2 Pengujian Bending *Sandwich Panel*

Uji lentur (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kerekatan dari *core* material dengan *faceplate* Pengujian lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan suatu material dalam menerima beban secara vertikal hingga material tersebut tidak dapat kembali pada posisi semula atau hingga material tersebut mengalami kerusakan. Pada material *Sandwich Panel* pengujian lentur dilakukan untuk mengetahui kekuatan yang pada material tersebut hingga material inti mengalami kerusakan dan material *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awalnya.



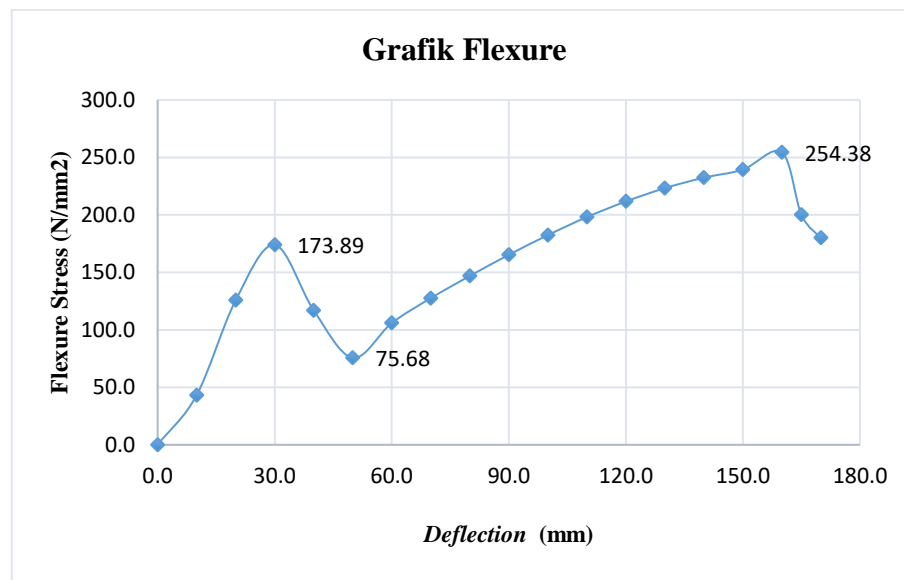
Gambar 4. 12 Bentuk spesimen uji bending

Pada gambar 4.12 Pengujian dilakukan pada komposisi core material 10 % dan 13 % dengan jumlah uji spesimen minimal 5 spesimen, hasil uji bending spesimen dapat dilihat dibawah ini.

Tabel 4. 7 Hasil uji bending

Jenis material	Force (N)	Flexsure Stress (Mpa)
Core 10 %	35980.7	254.38
Core 13 %	31665.0	241.44

Gambar 4.7 merupakan hasil dari pengujian bending dimana dari pengujian tersebut didapatkan nilai *force* dan *flexsure stess*, dapat dilihat bahwa core material 10 % mendapatkan nilai *flexsure stress* yang paling tinggi yaitu 254,38 Mpa sedangkan core 13% 241,44 Mpa.



Gambar 4. 13 Grafik hubungan tegangan lentur dengan defleksi *sandwich panel*

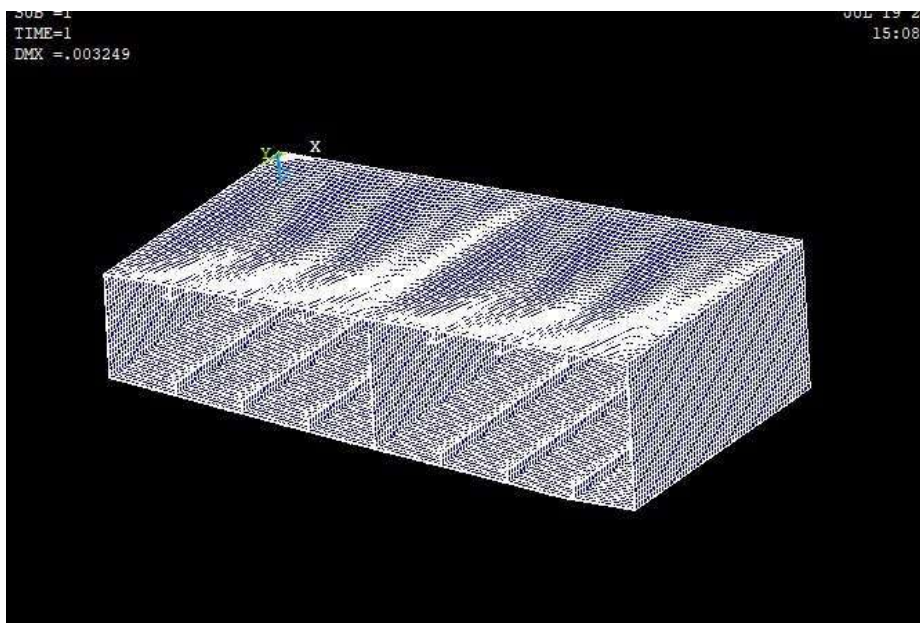
Pada gambar 4.13 dapat terlihat pada hasil tegangan lentur untuk *core material* 10% , dimana dapat dilihat bahwa inti *core material* *creck* atau patah di tegangan 178,89 N/mm² kemudian terjadi penurunan ini di akibatkan oleh pecahnya *core material* hingga tegangan 75,68 N/mm² terus naik kembali dimana dapat diartikan setelah *core materail* pecah, yang ada tinggal kekuatan *faceplate*nya mencapai 254,38 N/mm² mulai turun setelah pembebanan yang maksimum pada *material* inti merupakan bentuk kegagalan pada *faceplate* hingga mencapai titik dimana *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awal.

4.3. Pemodelan struktur *Sandwich Panel*

Berdasarkan hasil dari pengujian *core material* dan identifikasi dari *sandwich panel*, maka selanjutnya akan disajikan analisa model secara numerik sebagai perbandingan dan validasi dari hasil pengujian *material* secara eksperimen.

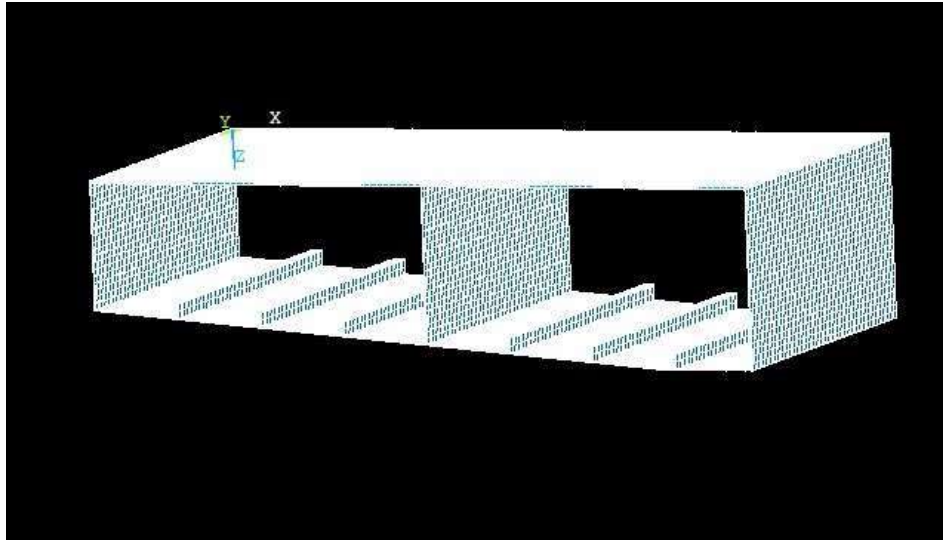
Dimana pemodelan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Finite Element Analysis* dengan bantuan perangkat lunak. Ukuran panel konstruksi yang dianalisa antara frame 40-45, dimensi pemodelan yang dilakukan adalah 5150 x 3000 mm pada lokasi pelat tank top dengan menggunakan struktur material *sandwich panel* dan sistem konstruksi konvensional pelat baja. dimana ukuran tersebut adalah ukuran dari jarak gading besar pada kapal general cargo.

Pemodelan yang dilakukan dengan membandingkan antara *sandwich panel* dengan sistem konstruksi pelat double bottom. Hal ini bertujuan sebagai verifikasi hasil pemodelan pada struktur *sandwich panel* dapat menggantikan sistem konstruksi konvensional.



Gambar 4. 14 konstruksi konvensional

Pada gambar 4.14 merupakan model yang dibuat dalam program berbasis *finite element* dimana kondisi model di buat persis seperti dengan kondisi sebenarnya dengan panjang dan lebar 5150 x 3000 mm dengan jumlah penegar enam buah.



Gambar 4. 15 Konstruksi *sandwich panel*

Gambar 4.15 merupakan model yang dibuat dalam program berbasis *finite element* dimana kondisi model di buat persis seperti dengan gambar 4.14 dengan panjang dan lebar 5150 x 3000 mm dengan penegar yang dihilangkan.

Pada penelitian ini, pembebanan pada konstruksi adalah dengan pembebanan merata dari muatan kapal. Pembebanan yang diberikan pada model dikondisikan sesuai dengan kondisi beban pada muatan kapal yang berhubungan langsung dengan plat tank top Pada model ini beban dihitung dengan rumus BKI section IV dengan nilai pembebanan sebesar $40,83 \text{ kN/m}^2$.

Tabel 4. 8 Tegangan maksimum pada tiap konstruksi

Sistem konstruksi	Stress (N/mm^2)	Tegangan izin (N/mm^2)	Kondisi
Konvensional	79.64	235.000	√
Sandwich 10 % tanpa penegar	74.56	76.521	√
Sandwich 10 % dengan penegar	51.25	76.521	√
Sandwich 13 % tanpa penegar	70.34	72.713	√
Sandwich 13 % dengan penegar	52.66	72.713	√

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa tegangan izin material di dapatkan dari dengan menggunakan persamman Von Mises

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} + 3\tau_{xy}^2} \quad (4.1).$$

Dimana :

σ_{xx} = Tegangan Lentur pada sumbu x

σ_{yy} = Tegangan Lentur pada sumbu y

τ_{xy} = Tegangan Geser

Dari persamaan von mises (Kurowski,2012) diatas Sandwich 10 % tanpa penegar 76.521 N/mm² dan sandwich panel 13 % 72.13 N/mm². Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa pada konstruksi yang sama penggunaan material sandwich memiliki nilai stress/tegangan yang lebih kecil. Terjadi penurunan stress dari kondisi konsional 79.64 N/mm² menjadi 51.25 Mpa N/mm² pada kontruksi *sandwich panel* , jadi dari perbedaan tegangan tersebut kita bisa mengurangi jumlah penegar untuk mereduksi berat.

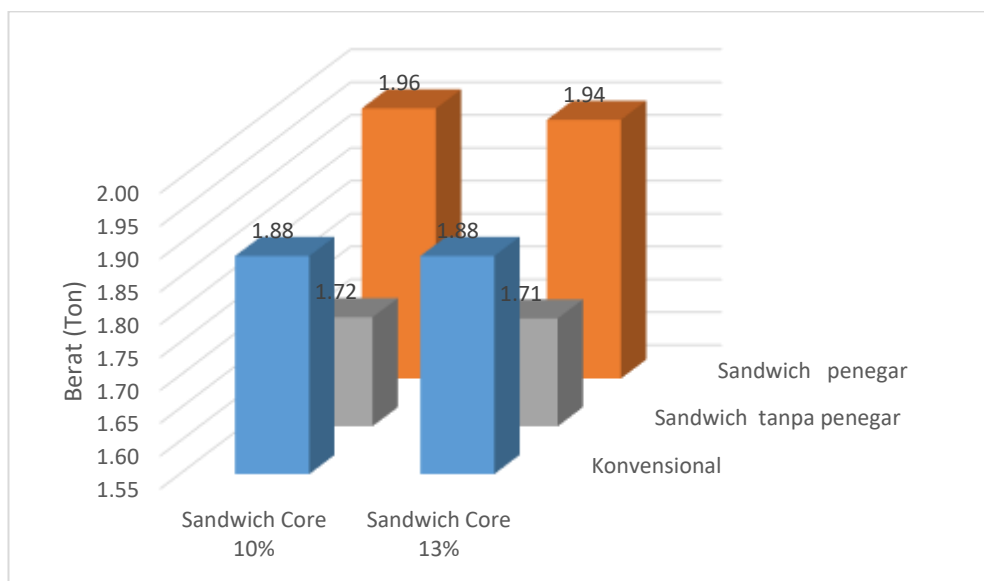
4.4. Analisa Berat Kontruksi

Analisa perubahan berat konstruksi kapal dilakukan pada model analisa numerik yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya dengan dimensi model adalah 5150 x 3000 mm. Hasil perhitungan berat dari setiap jenis *core material* ditunjukkan pada Tabel 4.9 yang dibandingkan dengan berat model konstruksi konvensional,dan perbandingan berat konstruksi yang dihasilkan diilustrasikan pada Gambar 4.16 sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan berat konstruksi model

Rekapitulasi	Berat Konstruksi (Ton)			Selisih penegar %	Selisih tanpa penegar %
	Konvensional	Sandwich penegar	Sandwich tanpa penegar		
Sandwich Core 10%	1.88	1.96	1.72	-4.20%	8.82%
Sandwich Core 13%	1.88	1.94	1.71	-3.28%	8.93%

Tabel 4.9 merupakan hasil perhitungan berat konstruksi model kapal konvensional, *sandwich panel* dengan penegar dan *sandwich panel* tanpa penegar, dapat dilihat bahwa untuk perbandingan berat konvensional dengan *sandwich* penegar lebih ringan model konvensional sekitar -4,20 % sedangkan untuk konvensional dengan *sandwich panel* tanpa penegar lebih ringan *sandwich* tanpa penegar yaitu sekitar 8,82 % jadi dapat disimpulkan apabila kita merancang konstruksi kapal dengan bentuk *sandwich panel* dengan mengurangi penegar akan memberikan reduksi berat.



Gambar 4. 16 Perbandingan berat konstruksi antara *Sandwich Panel* dengan sistem konstruksi konvensional

Tabel 4.9 dan Gambar 4.16 memberikan informasi perubahan berat konstruksi terjadi pada setiap jenis material inti dari *sandwich panel* yang memiliki perbedaan pada setiap besaran berat yang berkurang. Rata-rata pengurangan berat konstruksi yang terjadi sebesar 8.82 % pada *sandwich* tanpa penegar. Sedangkan kondisi *sandwich panel* dengan penegar malah lebih berat dari konvensional sebesar -1.72 %. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *sandwich panel* pada konstruksi pada plat *tank top* mampu mereduksi berat dari konstruksi kapal dengan adanya kesederhanaan bentuk konstruksi yang dihasilkan. Namun, tidak mengurangi segi kekuatan struktur pelat tersebut.

Dari hasil perhitungan berat pada model kapal yang telah dilakukan diperoleh bahwa seluruh jenis *core material* dapat mereduksi berat konstruksi sistem konvensional

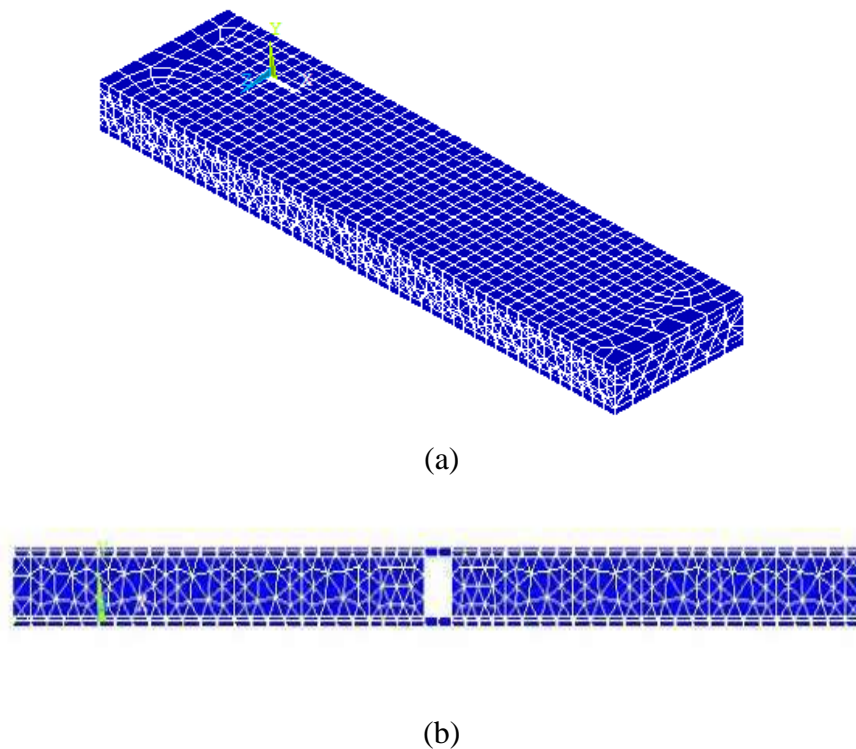
4.5. Analisa Getaran

Pada tahap ini dilakukan beberapa proses penelitian terkait *modal analysis* untuk material *Sandwich panel* dengan analisa menggunakan FEM (*finite element methode*) kemudian hasil analisa tersebut dibandingkan dengan pengujian experiment dengan kondisi utuh dan rusak. Analisa yang pertama menggunakan metode pemodelan, dimana hasil dari pemodelan tersebut, menjadi sarana informasi dalam mengidentifikasi hasil pengujian berikutnya, yaitu pengujian eksperimental material *sandwich panel*.

Berdasarkan hasil identifikasi *core material sandwich panel* yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan bahwa tidak semua komposisi *core material* memenuhi kriteria dan validasi pembebanannya. Sehingga pada tahap ini jenis *core material* yang akan dilakukan identifikasi adalah *core material* 10 % dan 13 %. pemilihan ini didasarkan oleh kriteria batas atas dan batas bawah dari komposisi pada material inti dari *sandwich panel*.

4.5.1 Pemodelan Sandwich Panel

Perancangan pemodelan *sandwich panel* menggunakan *software finite element*, analisa pemodelan dilakukan sebagai referensi dalam proses verifikasi antara hasil data ekperimental dengan hasil numerik. Pada pemodelan getaran hanya menggunakan satu model ekperimant, yaitu satu model dalam kondisi *sandwich panel* dengan core utuh, dan satu lagi *sandwich panel* dengan *core* yang dirusak. Model yang dibuat memiliki panjang dan lebar 240 mm x 60 mm dimana terdiri dari tebal faceplate 40mm dan tebal core 15mm.



Gambar 4. 17 (a) kondisi utuh, (b) kondisi cacat Model getaran *finite element*

Kondisi pada pemodelan *modal analysis* yang dilakukan adalah kondisi jepit pada semua sisi dari panel. Hal ini diberikan karena disesuaikan dengan kondisi pada saat melakukan pengujian. Selain pada kondisi utuh yang telah digambarkan pada Gambar 4.17, maka model selanjutnya akan dirusak sesuai kondisi pangujian. Ukuran dari cacat yang dibuat secara vertikal setinggi tebal *core* 15 mm dengan lebar 8 mm.

Tabel 4. 10 Hasil *Modal Analysis* pada *Sandwich Panel*

Core material	Frekuensi Natural (Hz)	
	Utuh	Cacat
Core material 10 %	532	470
Core material 13 %	519	402

Tabel 4.10 menunjukkan adanya perbedaan frekuensi antara kedua jenis *core material*, dengan ketebalan *faceplate* yang sama dan material inti yang sama memiliki perbedaan nilai frekuensi yang berbeda. Apabila dilihat dari hasil dari

Modal Analysis yang telah dilakukan didapat bahwa *core material* 10% memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *core material* 13%, hasil ini dipengaruhi oleh komposisi volume serbuk kayu yang digunakan pada bahan material intinya sehingga membuat kekakuan yang berbeda antara kedua jenis material tersebut. Dengan ketebalan *faceplate* dan *core material* kondisi material inti kondisi utuh dengan kondisi rusak

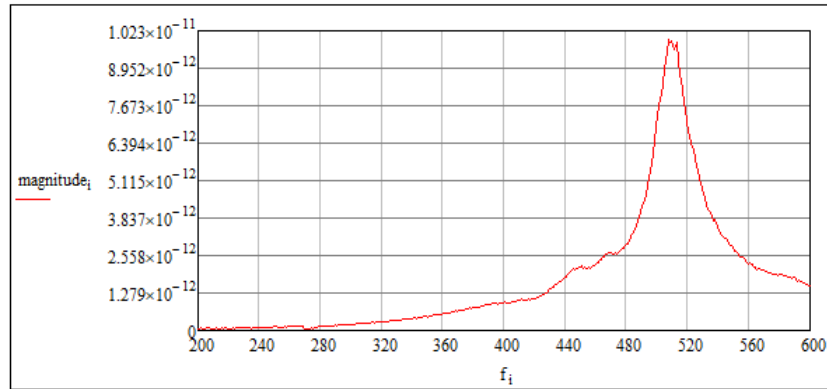
4.5.2. Pengujain getaran dengan eksperimen

Pada tahap ini dilakukan pembuatan cacat (*crack*) pada bagian *core sandwich panel* dengan cara melubangi core dengan bor dengan ketinggian 15 mm dan sampai menembus dari bagian sisi kanan dan kiri core material.

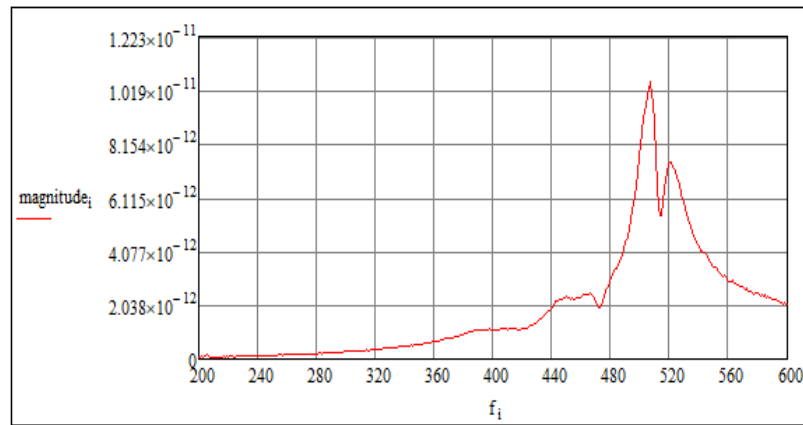
Pada penentuan *Modal Analysis* diperlukan analisa nilai koherensi untuk mengetahui kualitas dan kuantitas data yang didapatkan dari hasil pengujian. Nilai koherensi memiliki skala 0 hingga 1. Dimana angka 1 pada grafik koherensi melambangkan data hasil pengujian antara data input dan output semakin linier atau sama. Sedangkan nilai koherensi yang mendekati angka 0 menyatakan bahwa banyak *noise* yang terdeteksi pada saat melakukan pengujian atau pengolahan data yang kurang tepat. Nilai koherensi yang didapat pada dari eksperimen secara keseluruhan mendekati nilai 1, yaitu 0.92 ini menunjukkan bahwa nilai yang di dapat cukup valid jadi ti perlu dilakukan pengujian ulang.

1. Perbandingan Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Utuh

Pengambilan data pengujian getaran ini sesuai yang dijelaskan pada material uji seperti Gambar 3.21, dimana dilakukan enam titik pemulukan dengan palu khusus (*hammer*) dan tiga titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali pemukulan sehingga menghasilkan 30 data spektrum getaran dalam time domain. Gambar 4.18 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



(a)



(b)

Gambar 4. 18 Hasil pengujian getaran *sandwich panel*, (a) *core* 10 % , (b) *core* 13 %

Proses verifikasi hasil merupakan proses membandingkan kedua hasil pengujian antara analisa numerik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan variable control dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa pemodelan.

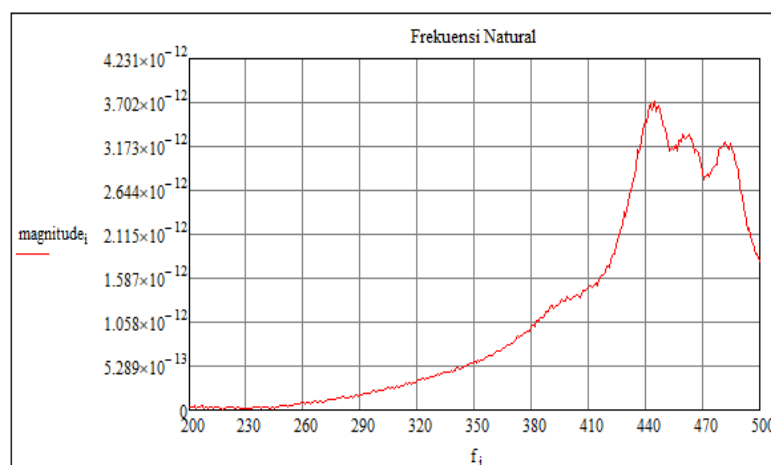
Tabel 4. 11 Perbandingan Analisa dan Experimen pada *Sandwich Panel* Kondisi Utuh

Core material	Frekuensi Natural (Hz)		Perbedaan (%)
	Ansys	Experiment	
Core 10 %	532	515	3%
Core 13 %	519	497	4%

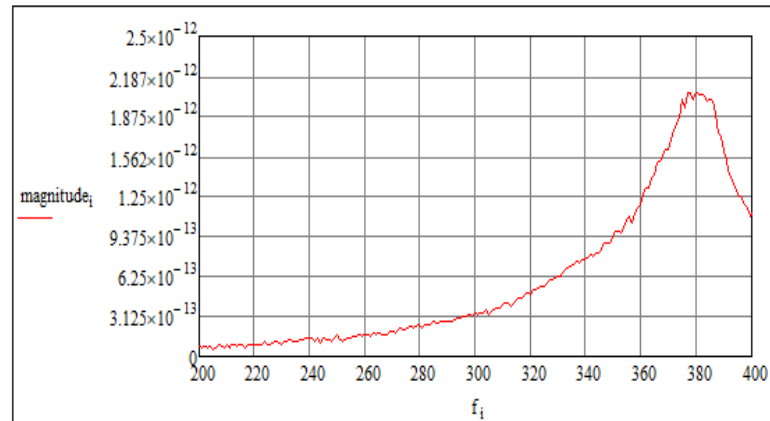
Tabel 4.11 menunjukkan angka frekuensi natural yang dihasilkan dari analisa dengan pemodelan numerik dan eksperimental, dimana tren yang dimiliki antara analisa model dan percobaan experimen kurang lebih sama. Perbedaan pada setiap jenis *core* dengan komposisi yang berbeda akan mengalami penurunan frekuensi pada material tersebut. Jadi *core material* 10% frekuensi natural yang dimiliki lebih besar dibandingkan dengan *core material* 13%, perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekakuan suatu material. Semakin besar nilai modulus elastisitas pada material tersebut maka memiliki frekuensi yang tinggi dibandingkan yang lainnya.

2. Perbandingan Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Cacat

Pengambilan data pada saat pengujian getaran sama persis seperti pada pengujian pada kondisi utuh, gambar 4.18 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



(a)



(b)

Gambar 4. 19 Hasil pengujian getaran *sandwich panel*, (a) *core* 10 % , (b) *core* 13 %

Selanjutnya, akan dipilih 6 data terbaik untuk dapat diolah menjadi frekuensi domain. Kategori data yang baik dalam proses pemilihan adalah jika sinyal yang diterima oleh *software analyzer* tidak mengalami *overload* baik dari *hammer* maupun *accelerometer*.

Proses verifikasi hasil merupakan proses membandingkan kedua hasil pengujian antara analisa numerik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan variable control dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa pemodelan.

Tabel 4. 12 Perbandingan Analisa dan Experimen pada *Sandwich Panel* Kondisi cacat

Core material	Frekuensi Natural (Hz)		Perbedaan (%)
	Ansys	Experiment	
10 %	470	448	5%
13 %	402	380	5%

Tabel 4.12 menunjukkan angka frekuensi natural yang dihasilkan dari analisa dengan pemodelan numerik dan eksperimental pada saat kondisi core dilakukan perlakuan cacat, dimana tren yang dimiliki antara analisa model dan

percobaan eksperimen kurang lebih sama. Perbedaan pada setiap jenis *core* dengan komposisi yang berbeda akan mengalami penurunan frekuensi pada material tersebut. Jadi *core material* 10% frekuensi natural yang dimiliki lebih besar dibandingkan dengan *core material* 13%, perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekakuan suatu material. Semakin besar nilai modulus elastisitas pada material tersebut maka memiliki frekuensi yang tinggi dibandingkan yang lainnya.

4.5.3 Hasil dan Analisa Damping Ratio Sandwich Panel

Karakteristik dinamis yang penting dalam pengujian ini adalah *damping ratio*. Yaitu kemampuan material dalam meredam suatu getaran. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dengan perbedaan komposisi pada *core* mampu meredam suatu getaran. Berikut nilai *damping ratio* dari material *sandwich panel* pada kondisi utuh dan cacat.

Tabel 4. 13 Hasil damping ratio

Damping Ratio	Core material	ζ_r (%)
Utuh	10 %	6.179
	13 %	4.980
Cacat	10 %	5.524
	13 %	4.652

Tabal 4.13 menunjukkan perbedaan nilai damping rasio dimana dari kedua kondisi pengujian utuh dan cacat memiliki perbedaan dimana pada kondisi utuh core 10% memiliki niali damping rasio lebih tinggi yaitu 6,179 sedangkan pada kondisi cacat core 10 % memiliki nilai damping rasio 5,524 %, apabila nilai ζ_r kurang dari 1 maka material tersebut tidak baik untuk di jadikan peredam (*underdamped*) sedangkan apabila nilai ζ_r lebih dari 1 maka material tersebut cocok digunakan sebagai peredam (*overdamped*).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian telah dilakukan untuk pengembangan *core material sandwich panel* dengan bahan epoxy resin dan bahan limbah serbuk gergaji kayu sengon. Penelitian ini menggunakan 6 variasi komposisi *core material* yang dibuat dari campuran serbuk kayu dan epoxy resin dengan prosentase berat serbuka kayu sebesar 0 %, 5%, 10%, 13%, 15 dan 20%. Material core yang dikembangkan diuji menurut standar LR sedangkan material sandwich yang dibuat dari bahan core tersebut dengan baja sebagai kulit (face sheet) diuji terhadap beban statik menurut ASTM C393. Guna mendapat sifat dinamis (frekuensi alami dan faktor redaman) maka struktur sandwich yang dikembangkan maka uji dinamis. Aplikasi struktur sandwich ini pada pelat *Tank top* juga disimulasikan dengan menggunakan program komputer berbasis FEM. Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pada pengujian densitas *core material sandwich* semakin banyak penambahan volume serbuk kayu sengon terhadap epoxy resin mengalami penurunan berat dari komposisi 0 %, 5 % sampai dengan komposisi 20%.
2. Pada pengujian tarik pada *core material*, dihasilkan bahwa penambahan serbuk kayu sengon pada epoxy resin menghasilkan nilai stress yang semakin turun tetapi masih memenuhi setandar LR.
3. Pada pengujian kekerasan pada *core material sandwich* menunjukkan bahwa memilki nilai kekerasan memenuhi standar LR.
4. Pada pengujian densitas balok sandwich mengalami penurunan *sandwich panel* dengan komposisi core material 10 % sebesar 3.397 kg/m³ sedangkan komposisi 13 % 3.252 kg/m³. Densitas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan densitas baja konvensional 7.850 kg/m³.
5. Berdasarkan dari hasil penelitian core yang memenuhi standar LR adalah core material dengan kadar serbuk kayu kurang dari 15%.

6. Pengujian bending dilakukan pada sandwich dengan komposisi core 10 % dan 13 % Berdasarkan hasil pengujian bending menunjukkan bahwa *core material* dengan komposisi 10 % memiliki kekuatan bending paling tinggi yaitu sebesar 254,38 N/mm², sedangkan core 13 % 241,44 N/mm² Sehingga dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, maka dipilih *core material* 10% sebagai komposisi terbaik untuk digunakan pada material inti dari *Sandwich Panel*.
7. Berdasarkan hasil analisa aplikasi pada struktur kapal, *sandwich panel* mampu memberikan pengurangan berat konstruksi yang terjadi pada model pelat tank top sesuai *frame spacing* daerah *midship* sebesar 8.82 %. *Sandwich Panel* dapat memberikan kesederhanaan bentuk konstruksi tank top, dengan tidak mengurangi nilai kekuatan dari konstruksi, sehingga menghasilkan bentuk konstruksi yang lebih ringan.
8. Pada pengujian getaran yang dilakukan menunjukkan bahwa, pengaruh adanya cacat pada material inti *sandwich panel* terjadi penurunan rata-rata 7 % frekuensi natural.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini, belum dilakukan kajian biaya pembuatan *Sandwich Panel*, sehingga perlu dilakukan kajian ekonomis untuk memperoleh biaya produksi dengan mempertimbangkan faktor eksternal selama proses produksi *Sandwich Panel*.
2. *Sandwich material* yang digunakan dalam penelitian ini masih mempunyai kekuatan geser yang tidak tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan *sandwich material* yang memiliki kekuatan geser yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 273, “*Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 393, “*Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 293, “*Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 412-68, “*Standard method of tension testing of vulcanized rubber*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM E 1826 - 01, “*Standard Test Method for Dynamic Young’s Modulus, Shear Modulus, and Poisson’s Ratio by Impulse Excitation of Vibration*”, American National Standard Institute, United States.
- Brooking, M.A., Kennedy, S.J (2004), “The performance, Safety and Production Benefit of SPS structures for Double Hull Tanker”. *Proceedings of the Rina conference on Double Hull Tankers*, 25-26.02.2004. London, UK, PP, 1-2.
- Biro Klasifikasi Indonesia, (2016), *Rules for Fiberglass Reinforced Plastic Ship*, Volume V, Part 3, Special Ship, BKI, Indonesia.
- Baidowi, A., Utomo, E. (2015), “Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) Pada Konstruksi Double Bottom”, *e-jurnal.undip.ac.id vol. 12, No.2*.
- DIN 53505, “*Shore A and Shore D hardness testing of rubber*”, Deutsches Institut für Normung e. V., Germany.
- Daaam, I., Conference, B., Engineering, I., & Abstract, H. (2012). Effect of Wood Particle Size on Tensile Strength in Case of Polymeric Composites, (April).
- Mom, N. (2009). Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of Application of Sandwich Plate System, 123–128.
- Gibson, R. F. (1984). *Principle of Composite Material Mechanics*. New York: McGraw Hill.
- Goldman, S. (1999), “*Vibration Spectrum Analysis*”, Industrial Press Inc, New York

- Gopichand,A., Krishnaiah,G., Reddy,D., Shankar, N.V.S.(2013) “*Modal Analysis of a Steel Sandwich Plate System (SPS) Floor*” IJERT.
- Hendra, S Ginting, Lubis, Maulida. Suwito, Fendi dan Tanujaya, Billy. (2015) “*Effect of Clam Shell Powder (Anadara granosa) Composition on Physical and Mechanical Properties of Polyester Resin Particle Board Products*”. Department of Chemical Engineering, University of Sumatera Utara, Indonesia
- ISO 845, Daaam, I., Conference, B., Engineering, I., & Abstract, H. (2012). Effect of Wood Particle Size on Tensile Strength in Case of Polymeric Composites, (April).
- Jimin, He. Fu, Zhi-Fang.(2001), “*Modal Analysis*”, Butterworth Heinemann,Great Britain
- Logan, Daryl L. (2007), “*A First Course in the Finite Element Method*”, Thomson Canada Limited, USA
- Llyod’s Register. (2015), *Provisional Rules for The Application ofSandwich PanelConstruction to Ship Structure*, LR, UK
- Momcilovic.N., Motok.M. (2009), *Estimation Of Ship Lightweight Reduction By Means Of Aplication Of Sandwich Plate System*, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade
- NewRail, *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*, University of Newcastle upon Tyne
- Winahyu, I. Zubaydi, A. (2017). “*Analisis Kerusakan Material Sandwich Panel Pada Konstruksi Kapal Menggunakan Getaran*”,Tesis ITS, Surabaya.

SURAT KETERANGAN
Nomor : Sket/ // /VII/2018

Yang bertanda tangan dibawah ini :

N a m a : Pompy Pratisna. ST.,MT
Pangkat/NRP : Mayor Laut (T) NRP 17816/P
Jabatan : Kataud Labinkimat

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa :

N a m a : Muhammad Sidik Purwoko
NRP : 04111650030008
Institusi Pendidikan : Institut Teknologi Sepuluh November
Pekerjaan : Mahasiswa
Judul Tesis : ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN
CORE MATERIAL LIMBAH SERBUK GERGAJI PADA KONSTRUKSI PELAT DATAR
KAPAL.

Menerangkan bahwa benar adanya mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan pengujian untuk pengabihan data tesis penelitian di Labinkimat Dislitbang TNI AL.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya dan digunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 31 Juli 2018

Yang menerangkan
a.n. Kepala Labinkimat
Kataud,



Pompy Pratisna. ST.,MT
Mayor Laut (T) NRP 17816/P



LAMPIRAN
HASIL PENGUJIAN TARIK *CORE MATERIAL*

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

0 % KE-1

ITS

: AZ TEAM

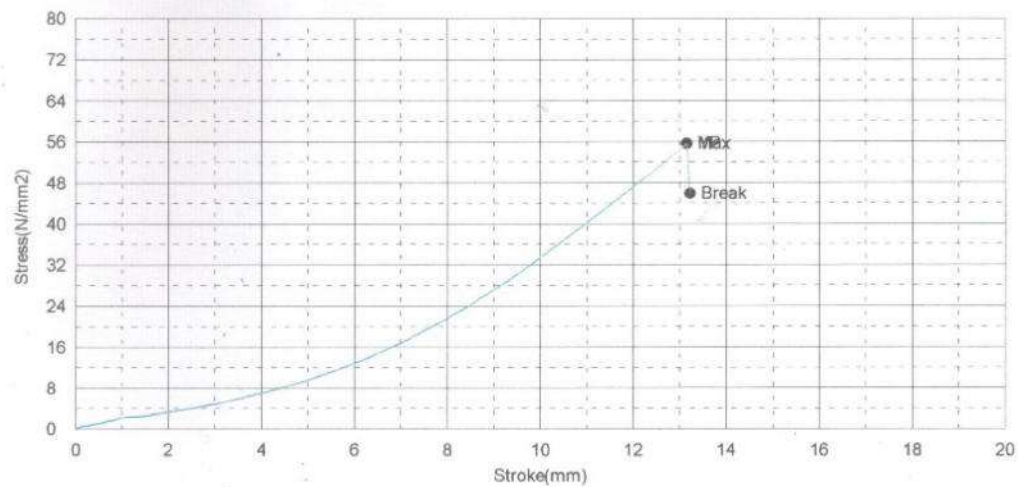
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,9300	19,8900	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	15,4187	13,1490	55,6498	26,2980	15,4187

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	13,1490	55,6498	26,2980	12,7188	13,2210

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	45,9048	26,4420



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

0 % KE-2

ITS

: AZ TEAM

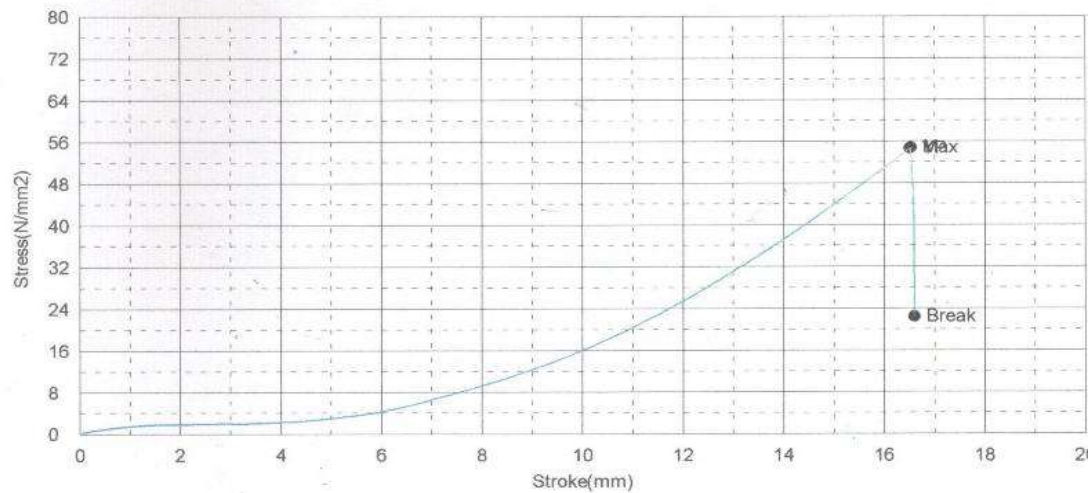
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,9900	19,7600	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	15,0906	16,5045	54,5887	33,0090	15,1438

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	16,5255	54,7809	33,0510	6,20625	16,6020

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	22,4504	33,2040



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

5% KE-1

ITS

: AZ TEAM

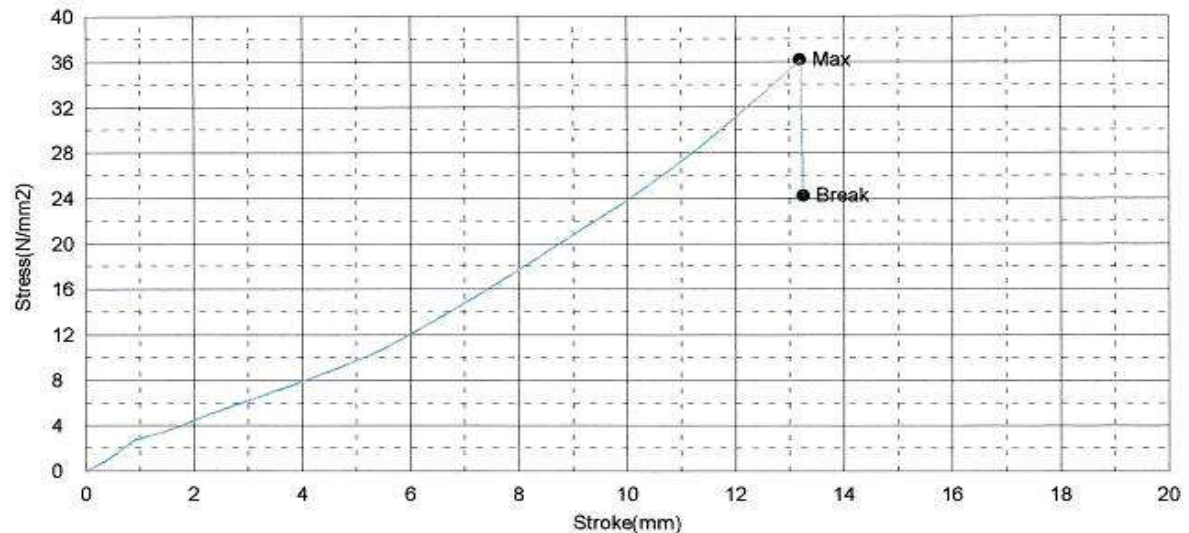
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,7800	19,0100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	-,-	-,-	-,-	-,-	9,47812

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	13,1900	36,1819	26,3800	6,34375	13,2425

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	24,2167	26,4850



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

5% KE-2

ITS

: AZ TEAM

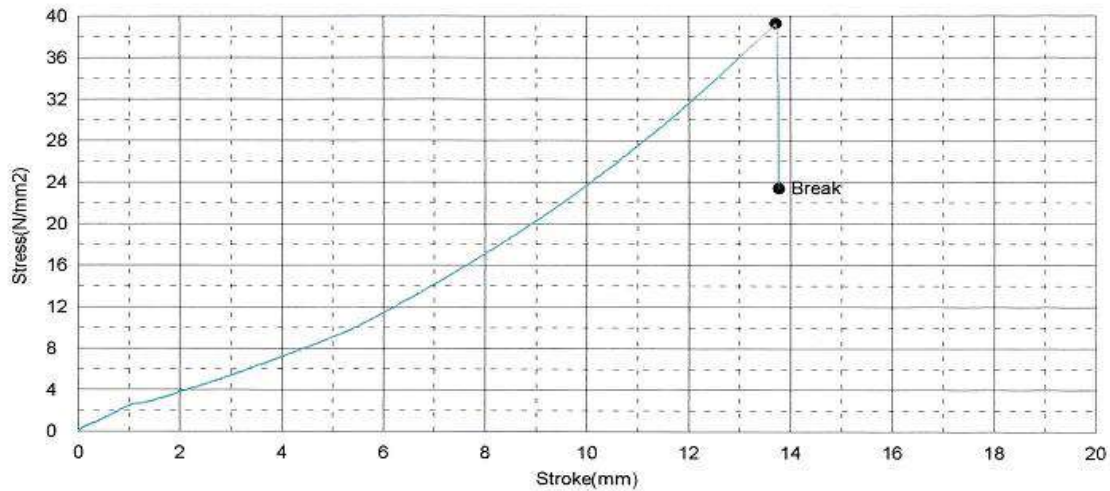
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,6000	18,8300	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,0594	13,7060	39,2809	27,4120	10,0594

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	13,7060	39,2809	27,4120	5,99375	13,7630

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	23,4050	27,5260



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

5% KE-3

ITS

: AZ TEAM

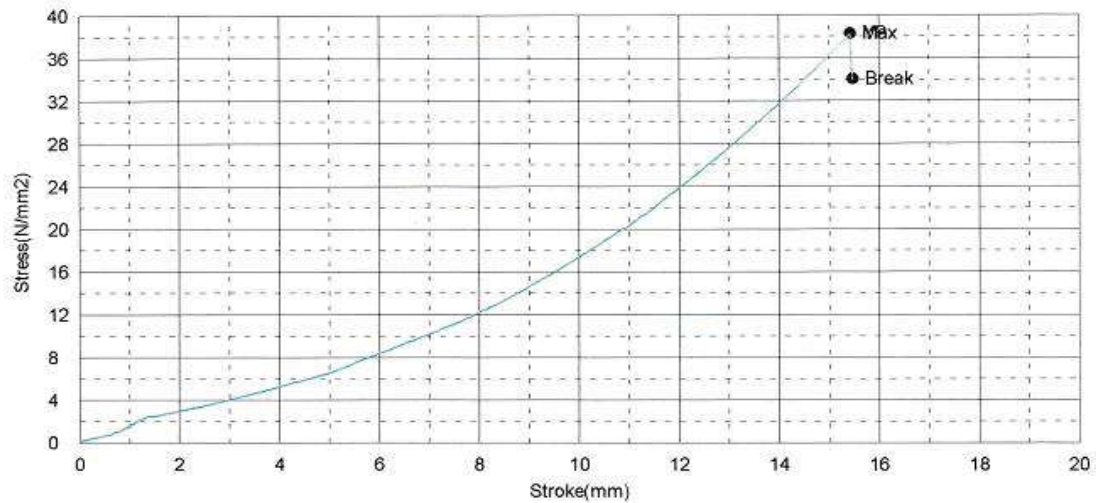
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,5700	18,9400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,84062	15,4270	38,2880	30,8540	9,84062

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	15,4270	38,2880	30,8540	8,75625	15,4770

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	34,0689	30,9540



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

5% KE-4

ITS

: AZ TEAM

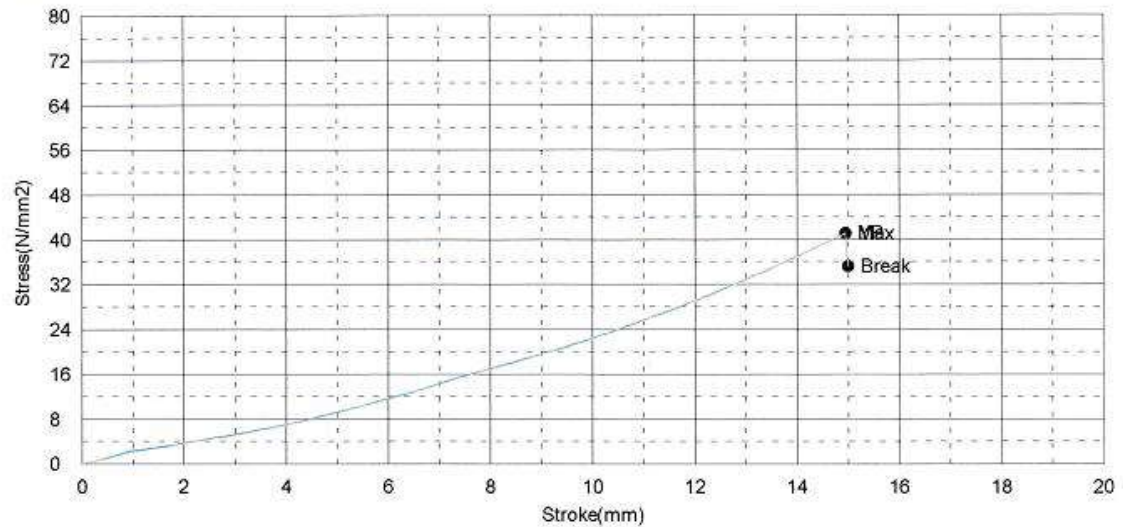
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,6800	19,2300	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,8219	14,9430	41,1374	29,8860	10,8219

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	14,9430	41,1374	29,8860	9,27188	14,9990

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	35,2454	29,9980



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

5% KE-5

ITS

: AZ TEAM

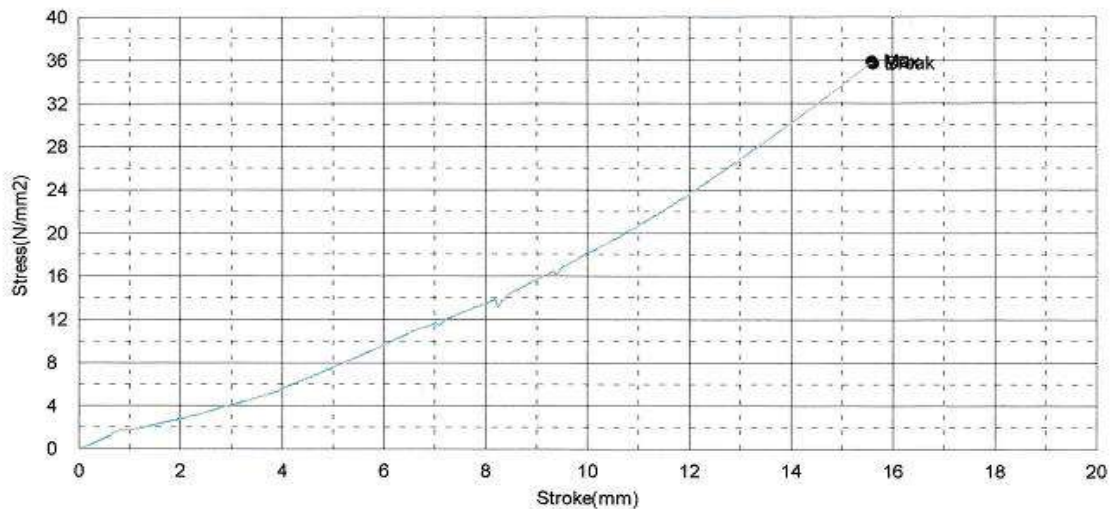
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,6400	19,0900	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,97500	15,6095	35,6916	31,2190	10,0188

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	15,5845	35,8481	31,1690	9,97500	15,6095

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	35,6916	31,2190



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

10% KE-1

ITS

: AZ TEAM

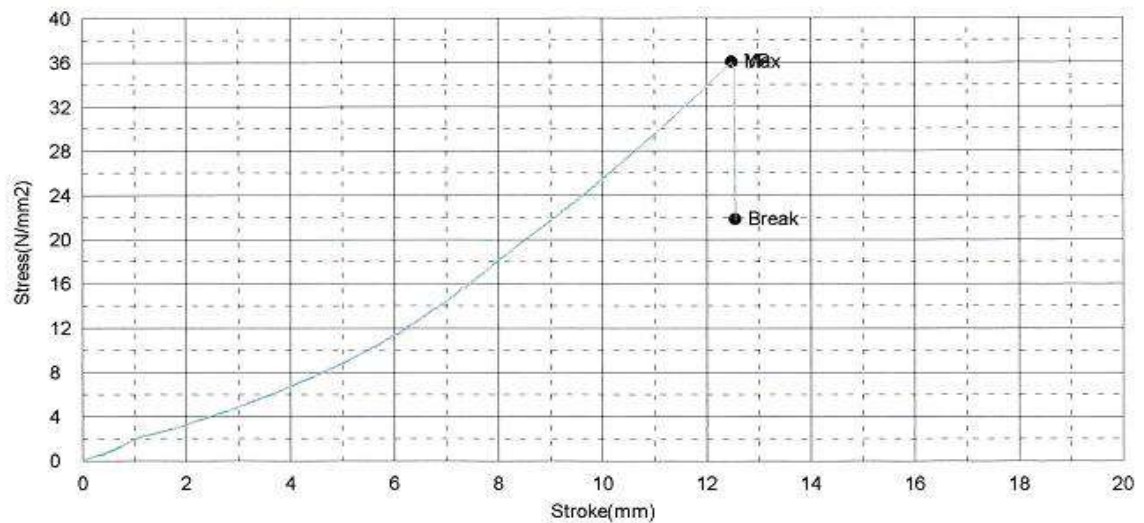
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2700	19,7500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	10,1563	12,4825	36,0365	24,9650	10,1563

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	12,4825	36,0365	24,9650	6,15938	12,5490

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	21,8547	25,0980



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

10% KE-2

ITS

: AZ TEAM

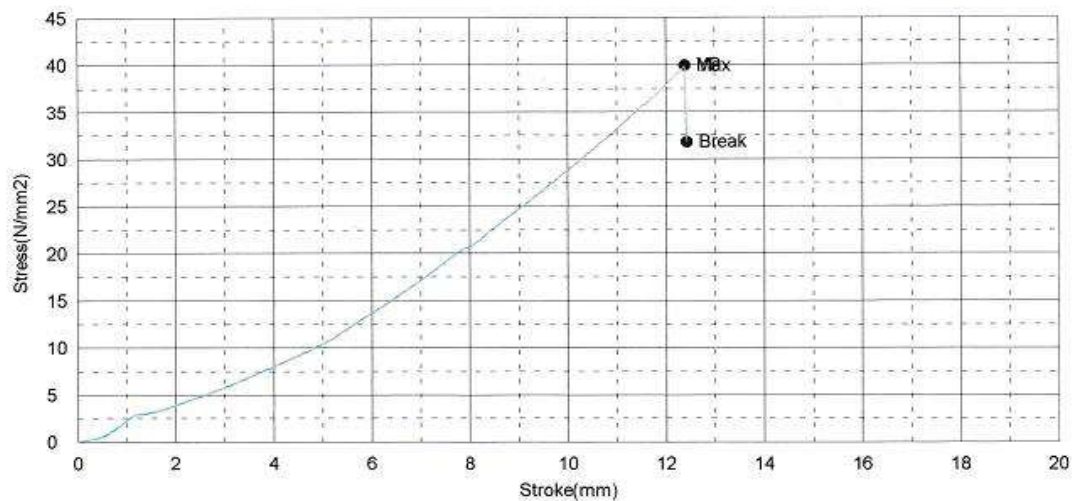
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8200	19,3800	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,6906	12,3830	39,9155	24,7660	10,6906

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,3830	39,9155	24,7660	8,52188	12,4310

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	31,8180	24,8620



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

10% KE-3

ITS

: AZ TEAM

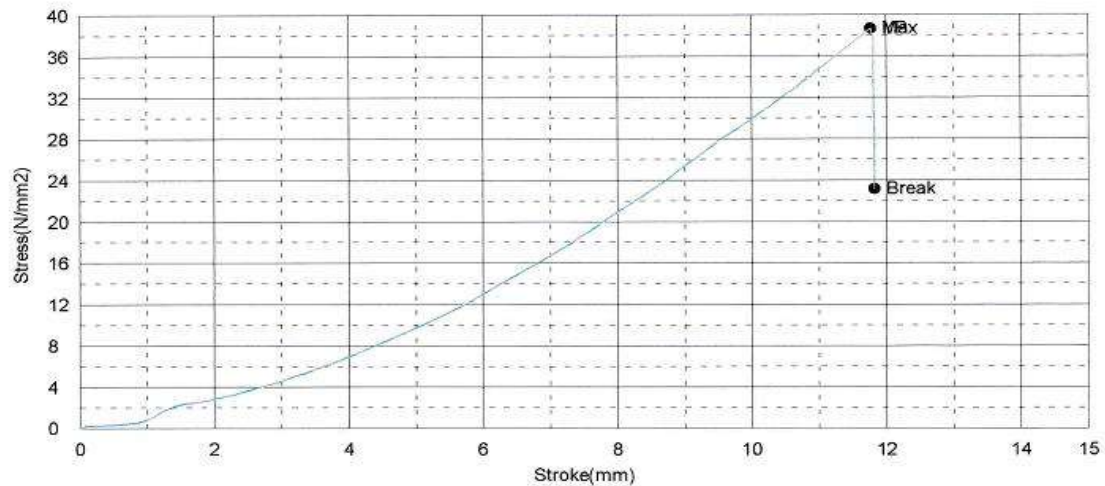
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,7800	19,8400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,5719	11,7660	38,6688	23,5320	10,5719

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	11,7660	38,6688	23,5320	6,34062	11,8190

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	23,1922	23,6380



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

10% KE-4

ITS

: AZ TEAM

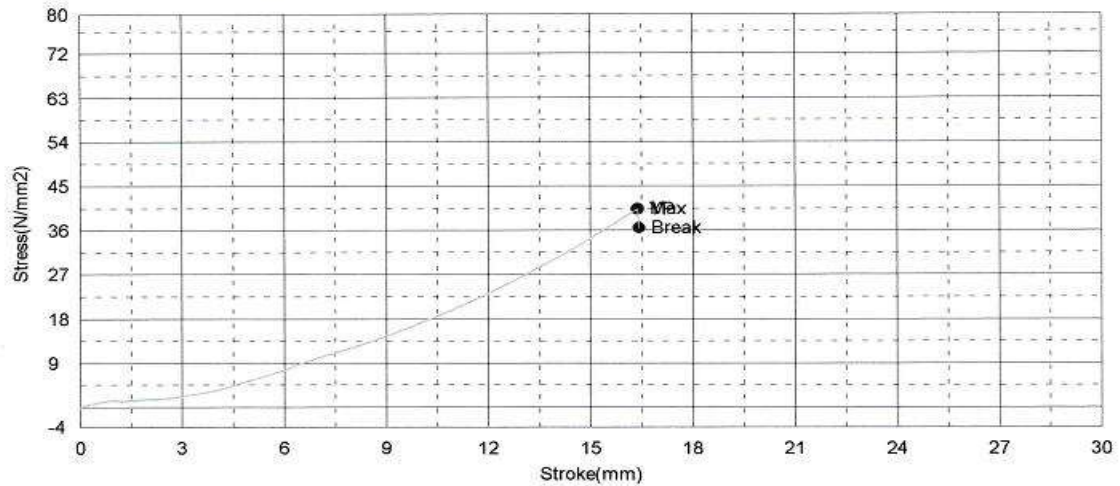
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,6000	19,8900	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	10,9125	16,3615	40,3414	32,7230	10,9312

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	16,3825	40,4107	32,7650	9,88125	16,4200

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	36,5290	32,8400



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

10% KE-5

ITS

: AZ TEAM

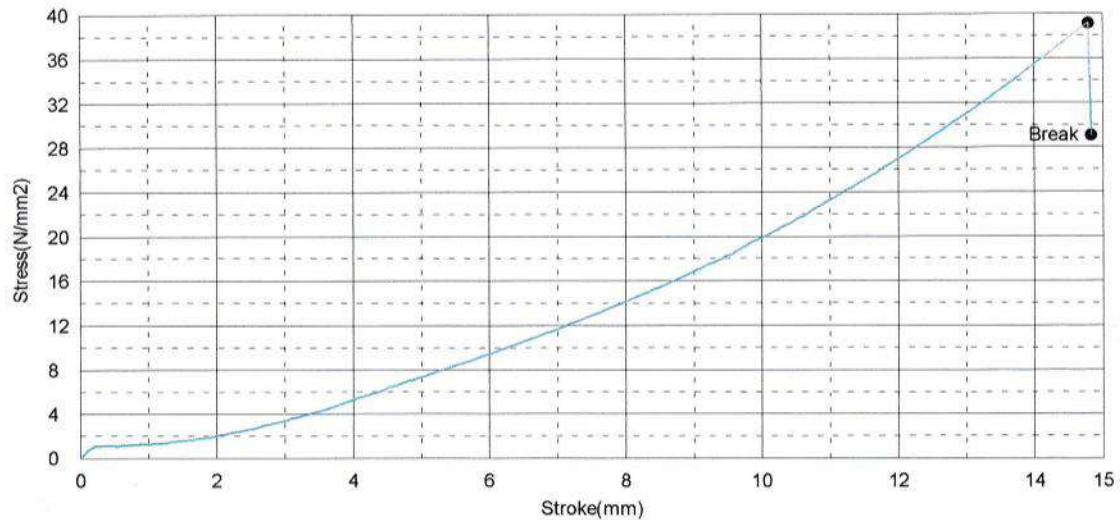
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,8000	19,3300	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	11,2000	14,7905	39,1493	29,5810	11,2000

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	14,7905	39,1493	29,5810	8,31875	14,8310

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	29,0780	29,6620



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

13% KE-1

ITS

: AZ TEAM

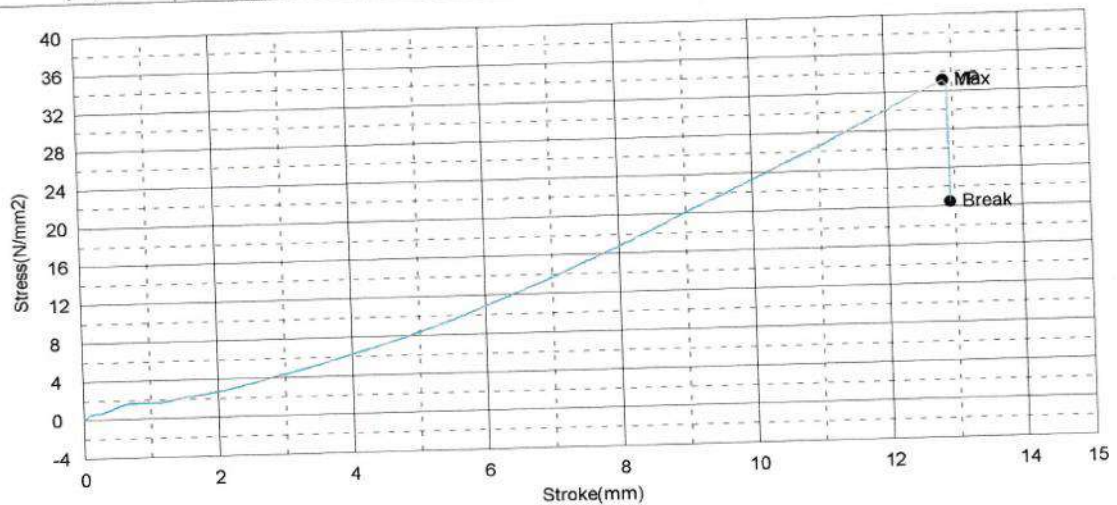
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,1300	19,9500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,33750	12,8590	33,1242	25,7180	9,33750

Name	Max_Disp	Max Stress	Max Strain	Break Force	Break Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,8590	33,1242	25,7180	5,77500	12,9250

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	20,4865	25,8500



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

13% KE-2

ITS

: AZ TEAM

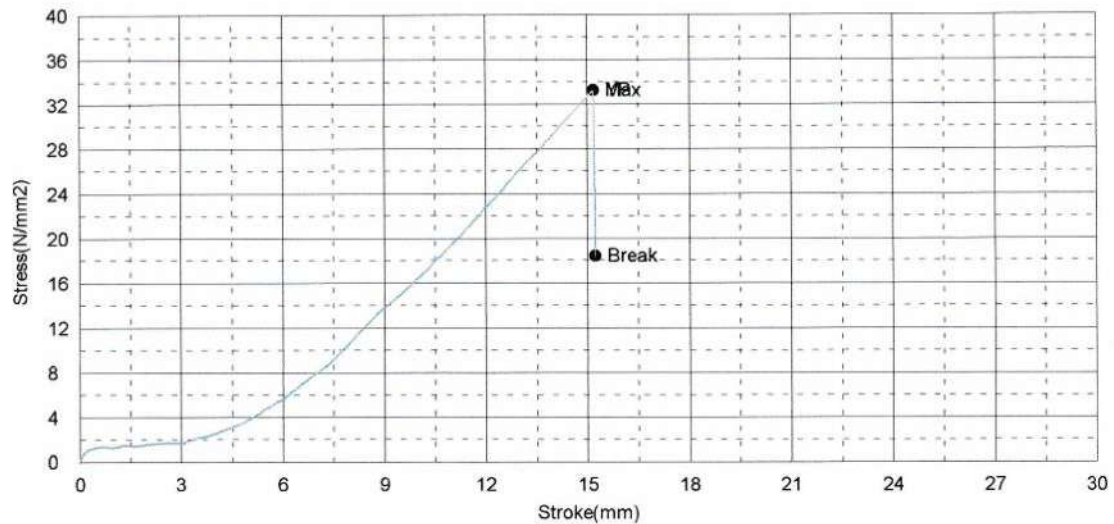
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,7000	19,2700	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	8,79375	15,1680	33,3098	30,3360	8,79375

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	15,1680	33,3098	30,3360	4,86562	15,2250

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	18,4305	30,4500



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

13% KE-3

ITS

: AZ TEAM

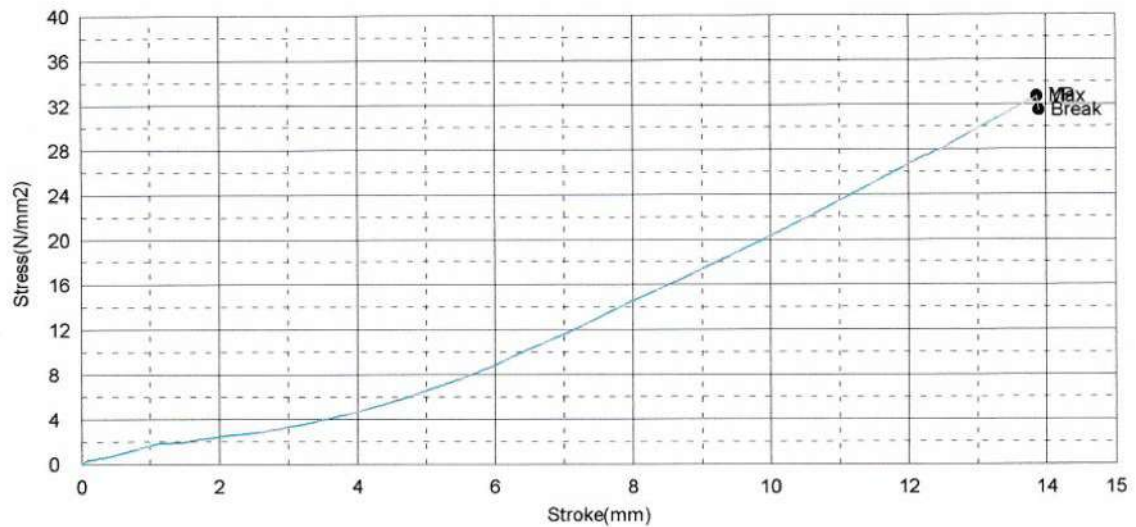
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,9800	19,8400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	9,07500	13,8600	32,7188	27,7200	9,07500

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	13,8600	32,7188	27,7200	8,74063	13,8910

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	31,5133	27,7820



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

13% KE-4

ITS

: AZ TEAM

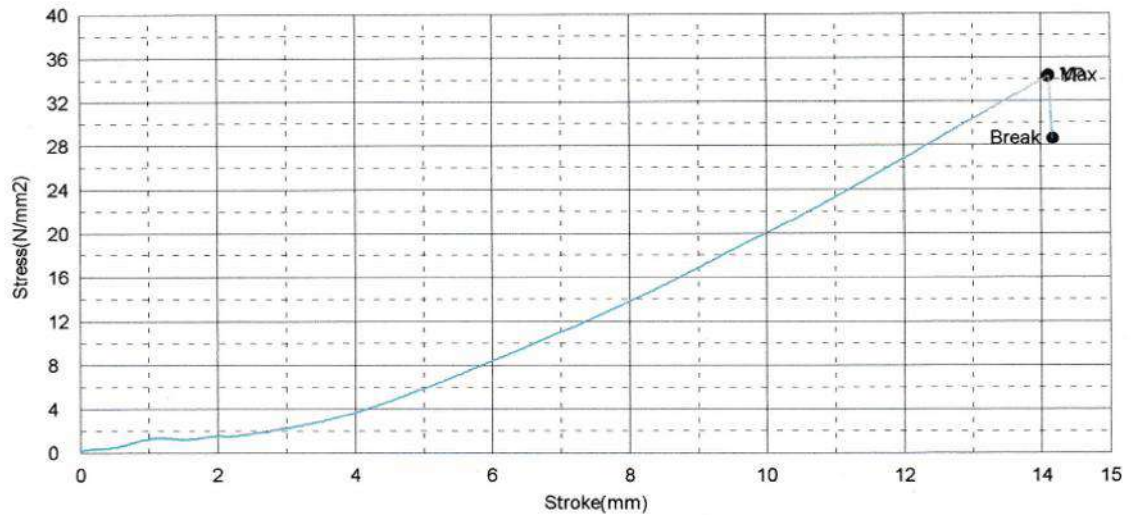
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,6000	19,7000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	9,85312	14,0890	34,2574	28,1780	9,87500

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	14,1095	34,3335	28,2190	8,22188	14,1670

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	28,5859	28,3340



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

13% KE-5

ITS

: AZ TEAM

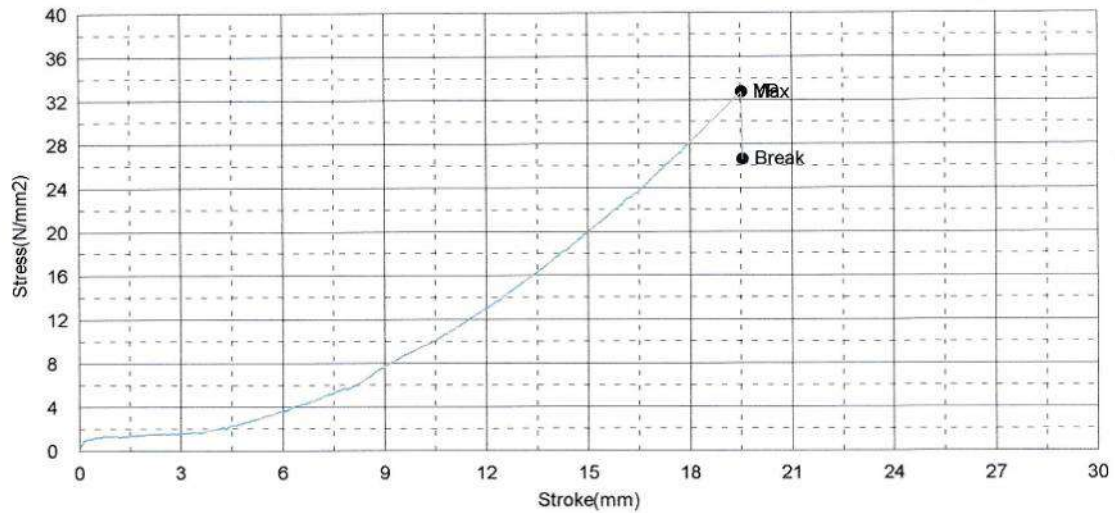
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0300	19,6000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	9,01563	19,5200	32,7855	39,0400	9,01563

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	19,5200	32,7855	39,0400	7,32500	19,5620

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	26,6375	39,1240



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

15% KE-1

ITS

: AZ TEAM

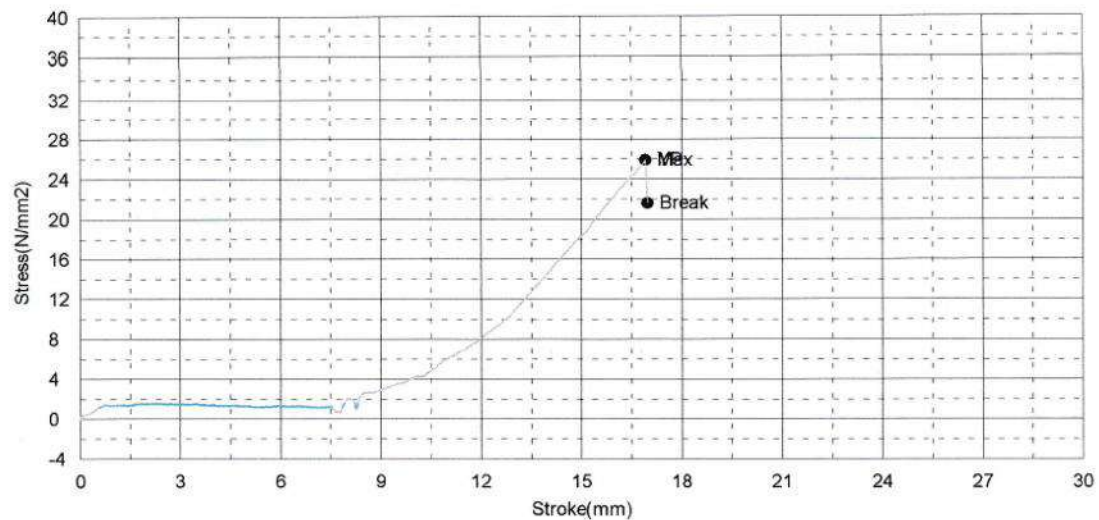
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,2300	19,6800	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,26875	16,9190	25,9555	33,8380	7,26875

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	16,9190	25,9555	33,8380	6,06250	16,9750

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	21,6482	33,9500



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

15% KE-2

ITS

: AZ TEAM

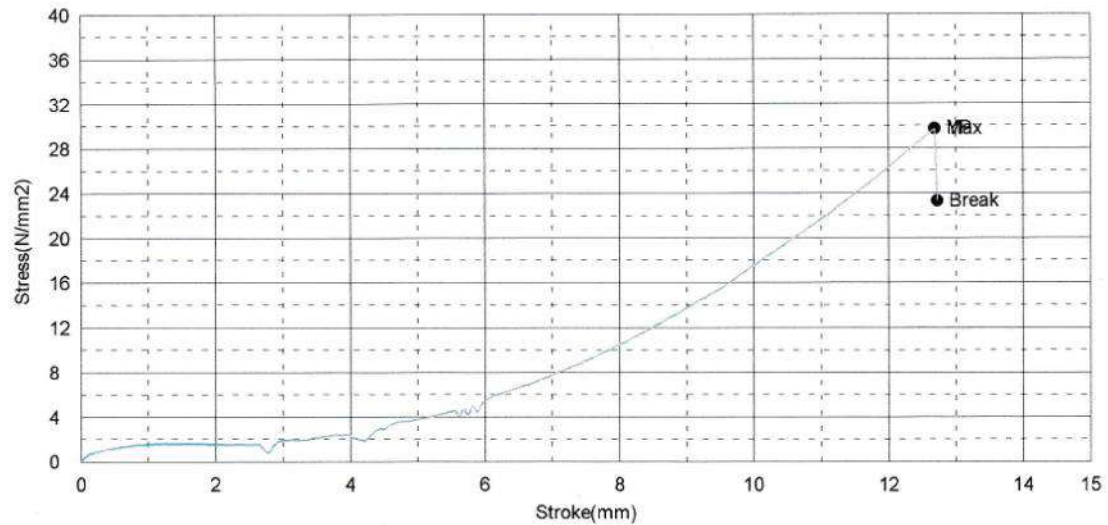
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8600	19,9100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	8,21250	12,6820	29,7605	25,3640	8,21250

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	12,6820	29,7605	25,3640	6,43750	12,7210

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	23,3283	25,4420



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

15% KE-3

ITS

: AZ TEAM

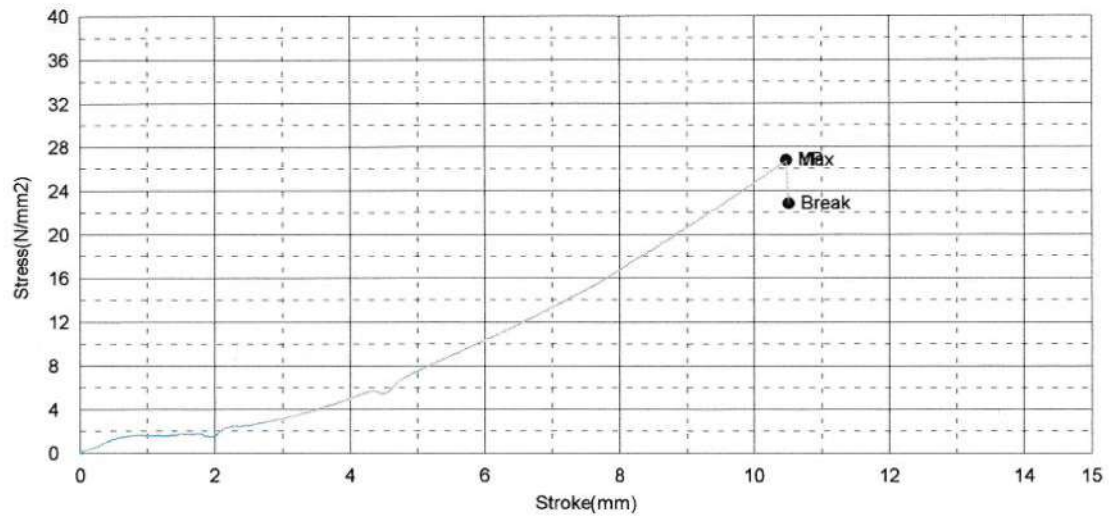
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0100	19,3500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,26250	10,4685	26,7896	20,9370	7,26250

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,4685	26,7896	20,9370	6,20000	10,5080

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	22,8703	21,0160



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

15% KE-4

ITS

: AZ TEAM

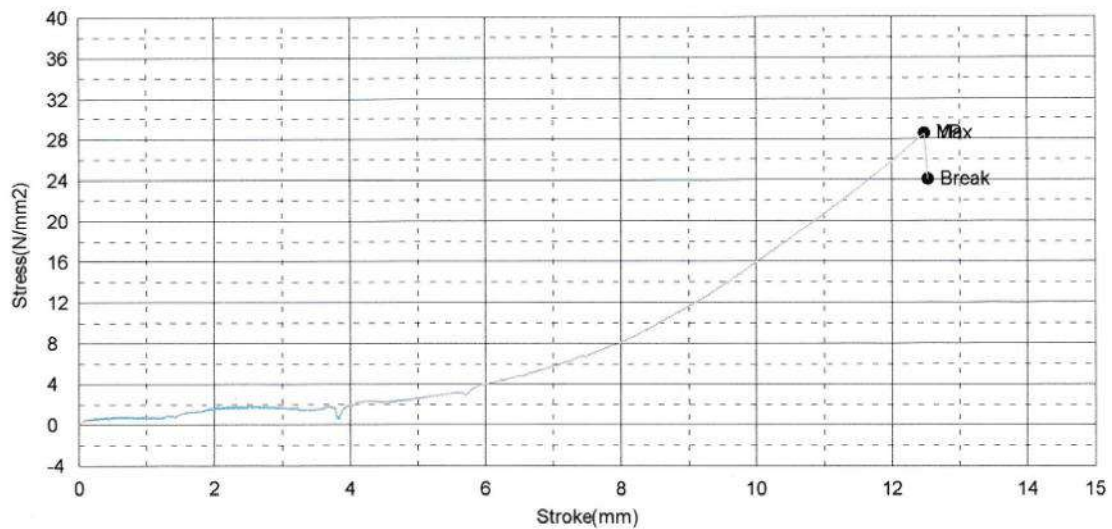
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	13,8800	19,8200	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,85625	12,4815	28,5576	24,9630	7,85625

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	12,4815	28,5576	24,9630	6,62500	12,5290

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	24,0820	25,0580



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

15% KE-5

ITS

: AZ TEAM

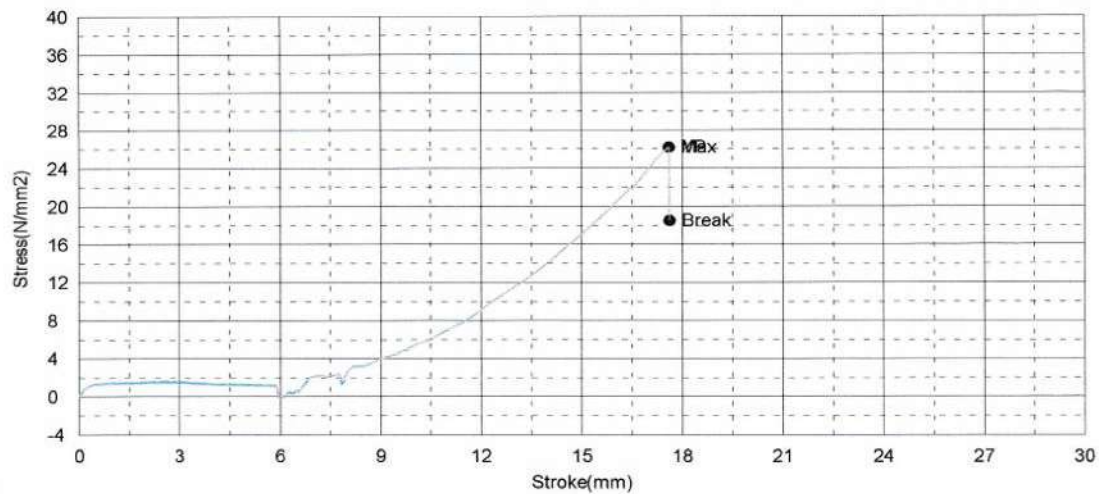
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,1100	19,3400	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	7,15312	17,6070	26,2127	35,2140	7,15312

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	17,6070	26,2127	35,2140	5,05000	17,6120

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	18,5058	35,2240



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

20% KE-1

ITS

: AZ TEAM

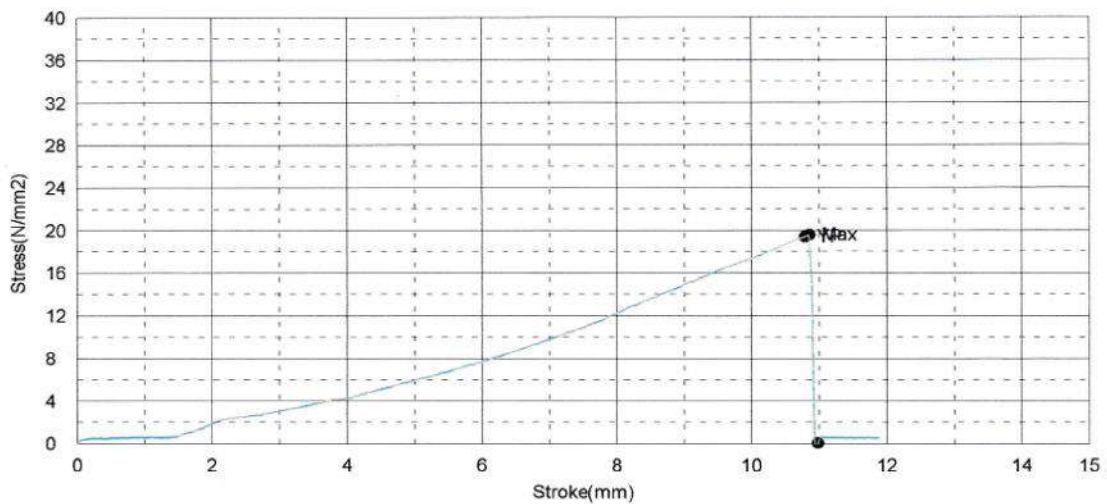
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,8000	19,0900	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	5,48750	10,7860	19,4226	21,5720	5,52812

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,8495	19,5664	21,6990	,02187	10,9795

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	,07742	21,9590



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

20% KE-2

ITS

: AZ TEAM

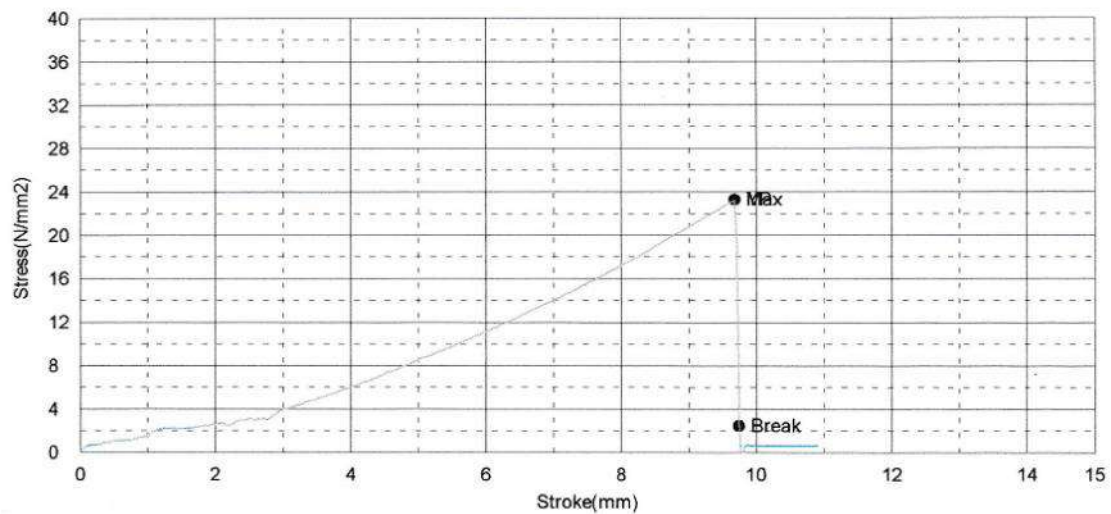
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,0000	18,9000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	6,15625	9,66900	23,2663	19,3380	6,15625

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,66900	23,2663	19,3380	,65938	9,74100

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	2,49197	19,4820



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

20% KE-3

ITS

: AZ TEAM

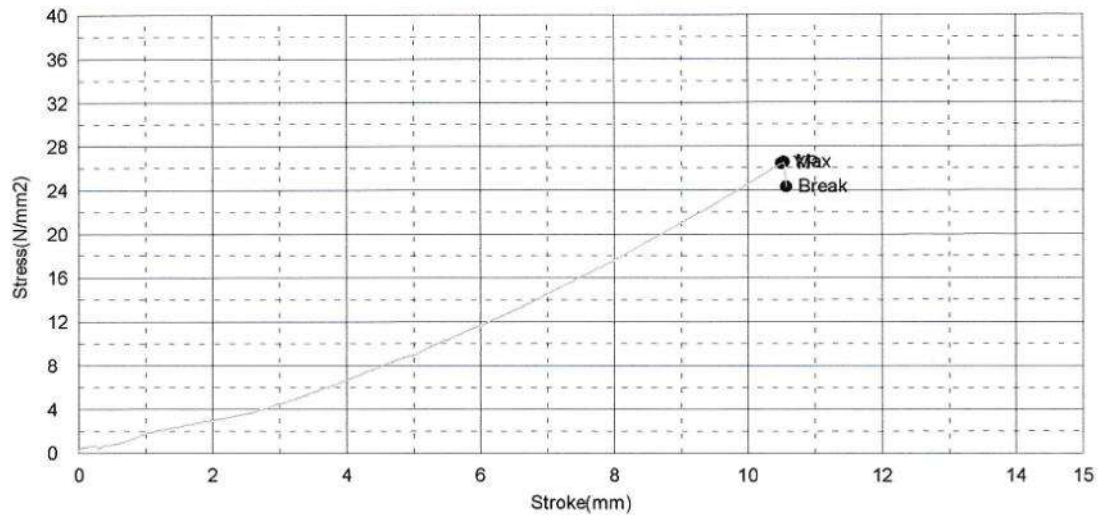
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,6300	18,8100	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	7,27500	10,4890	26,4363	20,9780	7,31563

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	10,5305	26,5839	21,0610	6,69688	10,5690

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	24,3354	21,1380



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

20% KE-4

ITS

: AZ TEAM

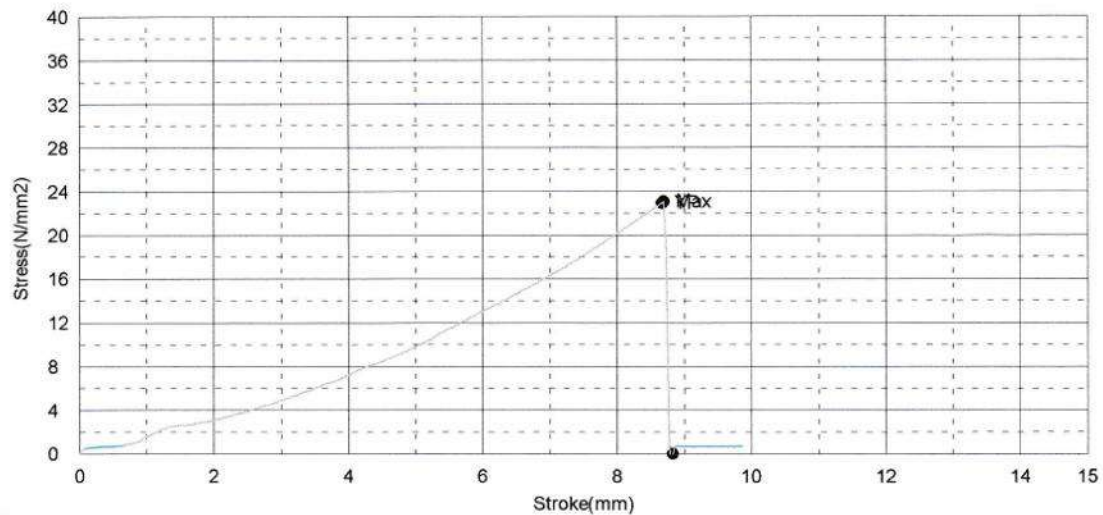
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,3600	18,6000	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	6,13125	8,67050	22,9552	17,3410	6,16563

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	8,69150	23,0839	17,3830	,01563	8,82500

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1 - 1	,05850	17,6500



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK KAYU

20% KE-5

ITS

: AZ TEAM

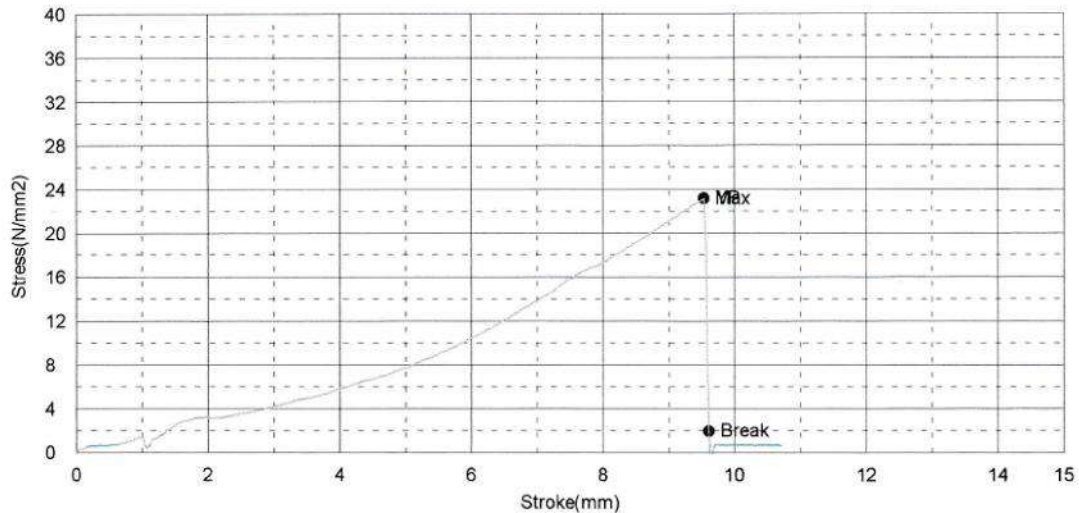
Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	14,4700	18,6500	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	6,25625	9,52900	23,1828	19,0580	6,25625

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	9,52900	23,1828	19,0580	,52812	9,60800

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm2	%
1 - 1	1,95699	19,2160



Comment



LAMPIRAN
HASIL PENGUJIAN LENTUR
SANDWICH PANEL

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 10%

KE 1

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

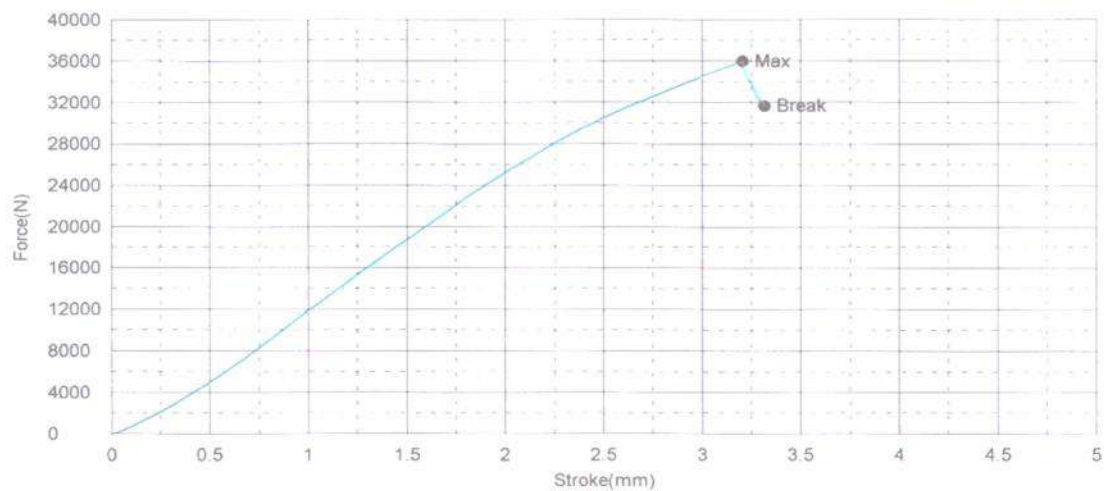
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	-	-	-	-	-

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-	-	-	-	-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-	-	35937,5	3,20400	240,573

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,61152	31646,9	3,31650	211,851	1,66811



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 10%

KE 2

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

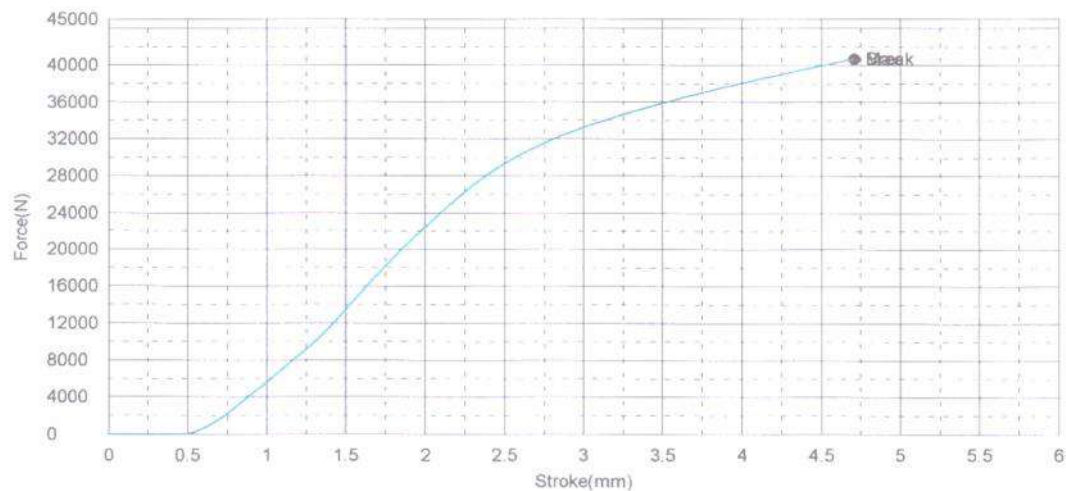
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	40678,1	4,70750	272,308

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	2,36774	40678,1	4,70750	272,308	2,36774



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 10%

KE 3

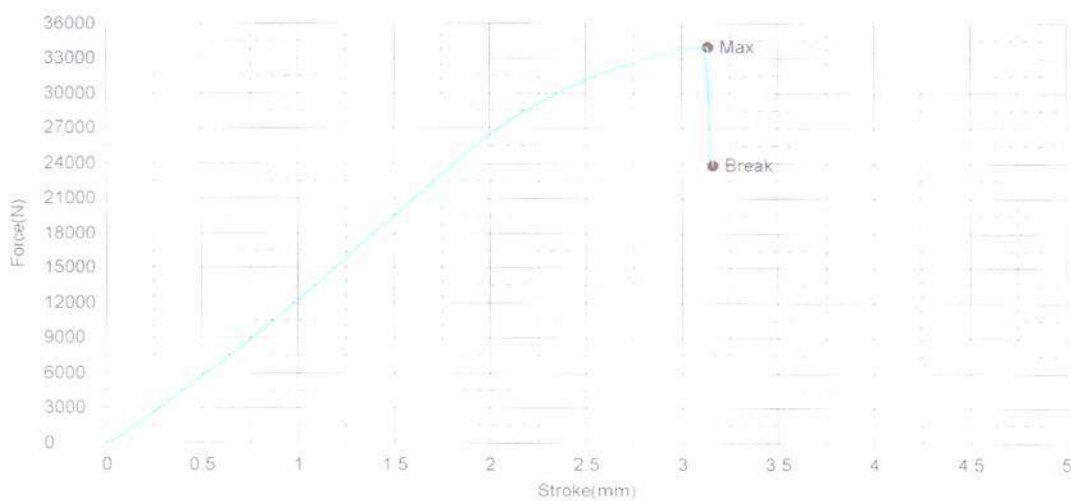
ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID :

Shape: Plate

Units	Thickness	Width	Lower Support		
1 - 1	mm	mm	mm		
	22,0000	75,0000	162,0000		
Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1					
Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1					
Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1			33990,6	3,13500	227,541
Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,57682	23831,3	3,16250	159,532	1,59065



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 10%

KE 4

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

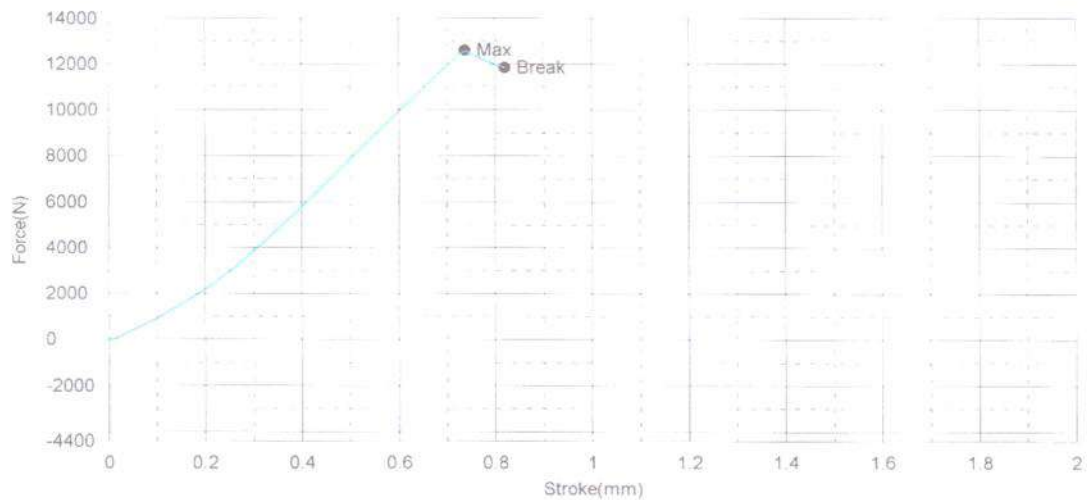
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	12600,0	,73750	84,3471

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	,37094	11843,8	,82000	79,2846	,41244



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 10%

ITS AZ TEAM

Date : 2002/01/01

:

ID

Shape: Plate

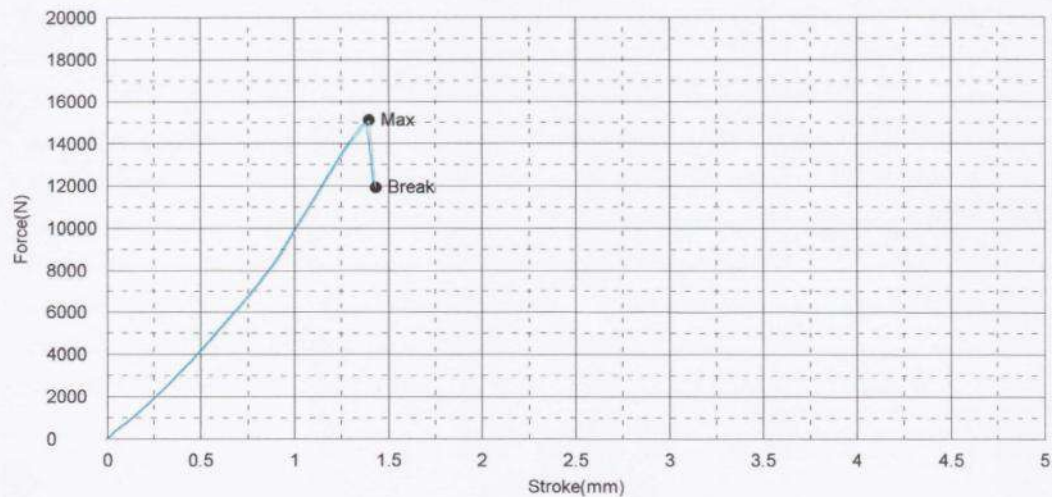
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	15118,8	1,39800	101,208

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	,70315	11934,4	1,43200	79,8913	,72026



Comment 4

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 13%

KE 1

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

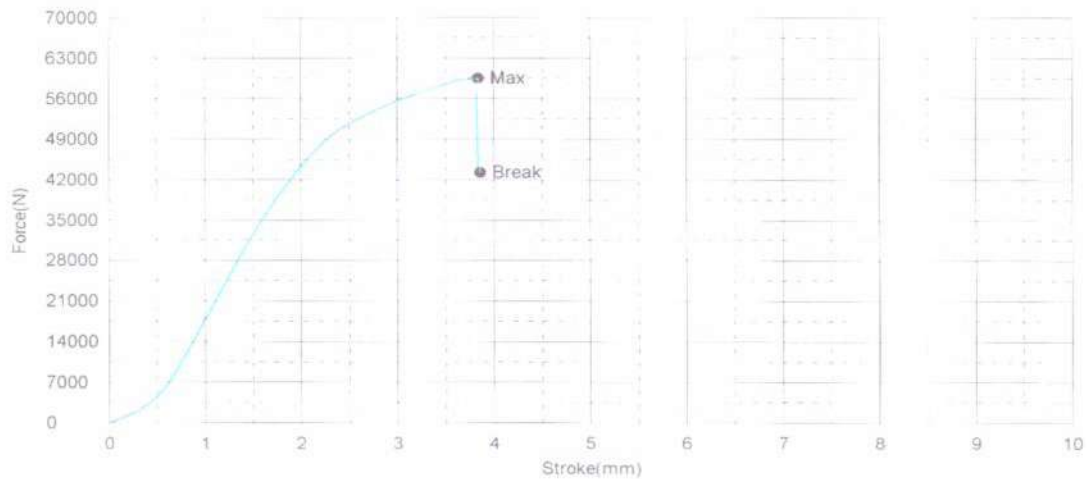
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	-	-	-	-	-

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-	-	-	-	-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-	-	59509,4	3,83950	398,369

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,93116	43321,9	3,85900	290,006	1,94097



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 13%

KE 2

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

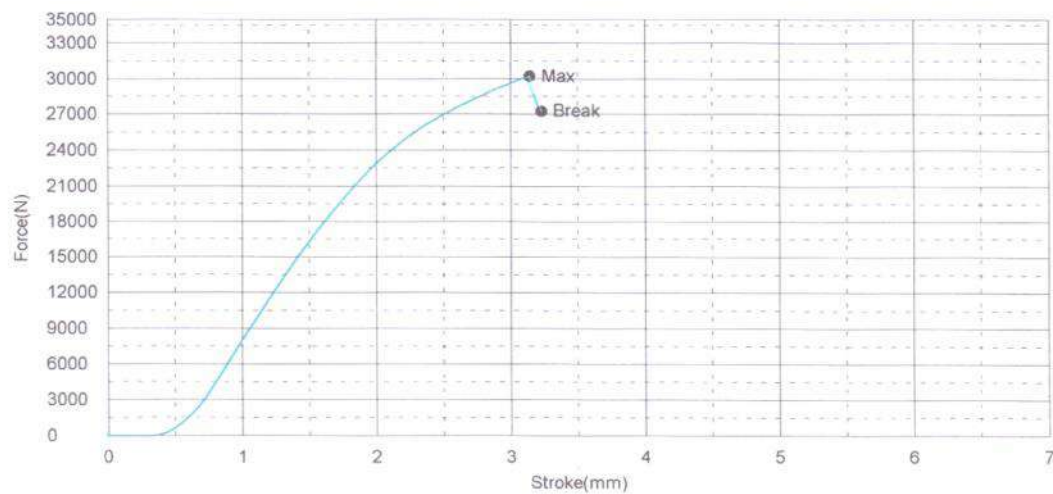
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-,-	-,-	30225,0	3,14100	202,333

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,57984	27265,6	3,22900	182,522	1,62410



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 13%

KE 3

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10

ID

Shape: Plate

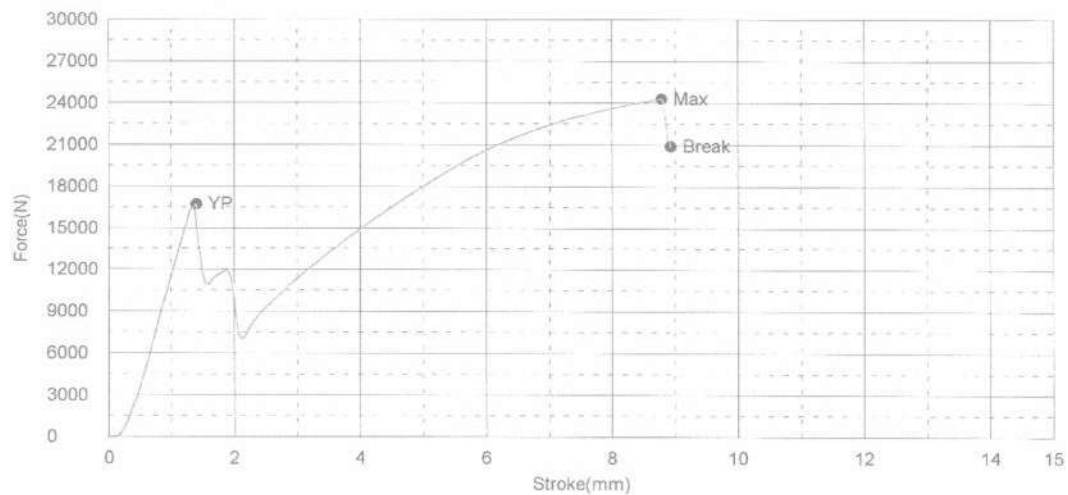
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	16728,1	1,39500	111,982	,70165	-,-

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	-,-	-,-	-,-	-,-	-,-

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	-,-	-,-	24318,8	8,78800	162,795

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	4,42012	20893,8	8,93050	139,867	4,49179



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 13%

KE 4

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

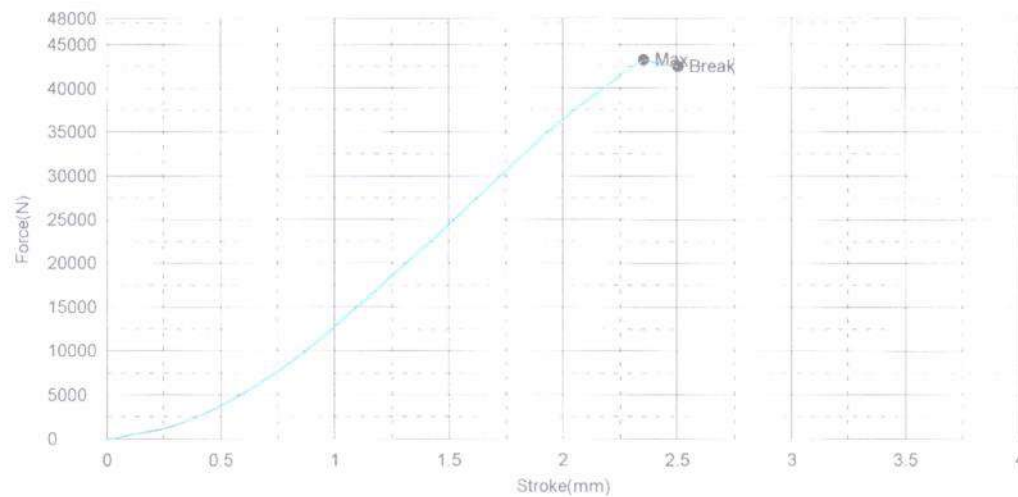
Units	Thickness mm	Width mm	Lower Support mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%			
1 - 1	--	--	43259,4	2,35500	289,588

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,18450	42484,4	2,50350	284,400	1,25919



Comment

HASIL UJI BENDING MATERIAL KAYU 13%

KE 5

ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

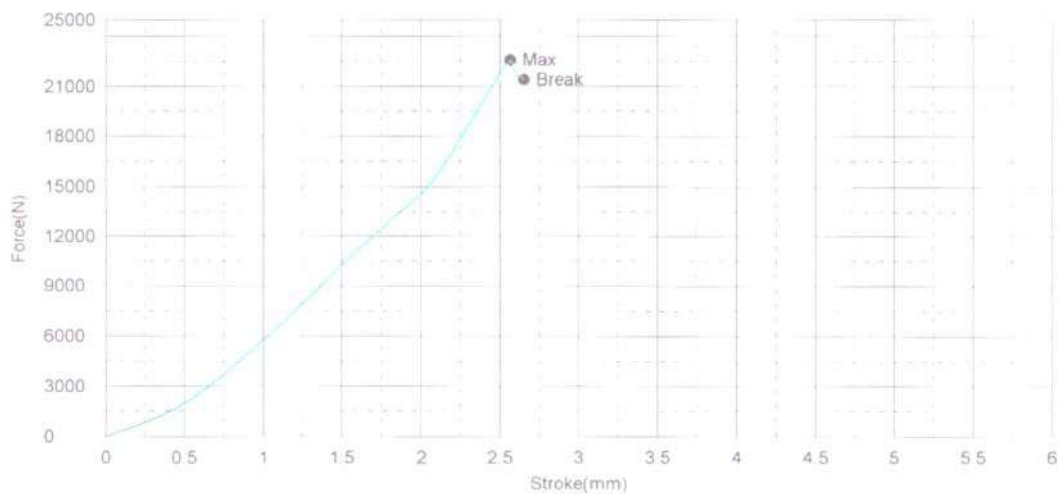
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	22,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	22590,6	2,56800	151,227

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,29163	21393,8	2,65200	143,214	1,33388

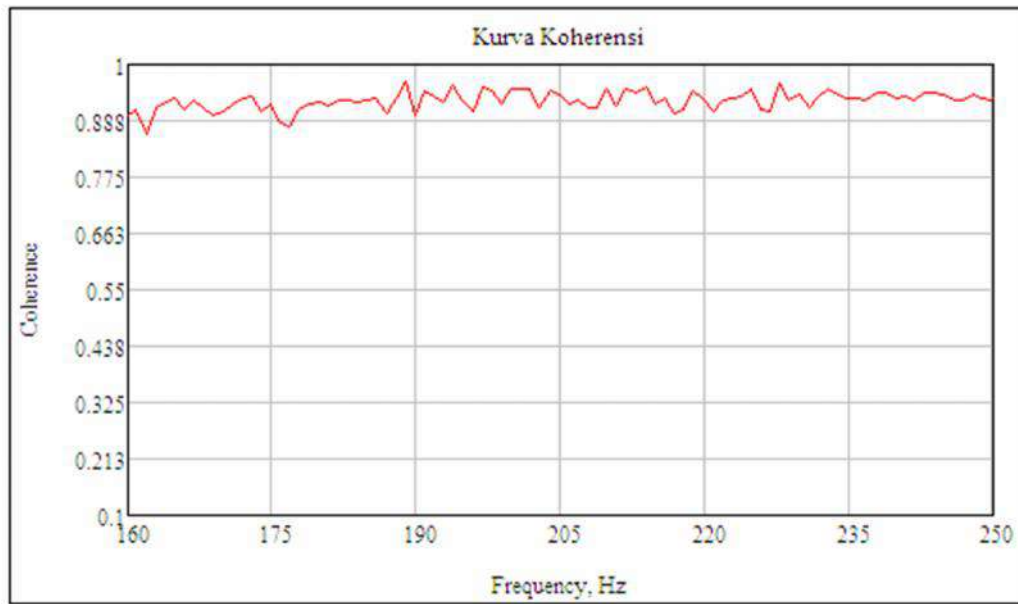
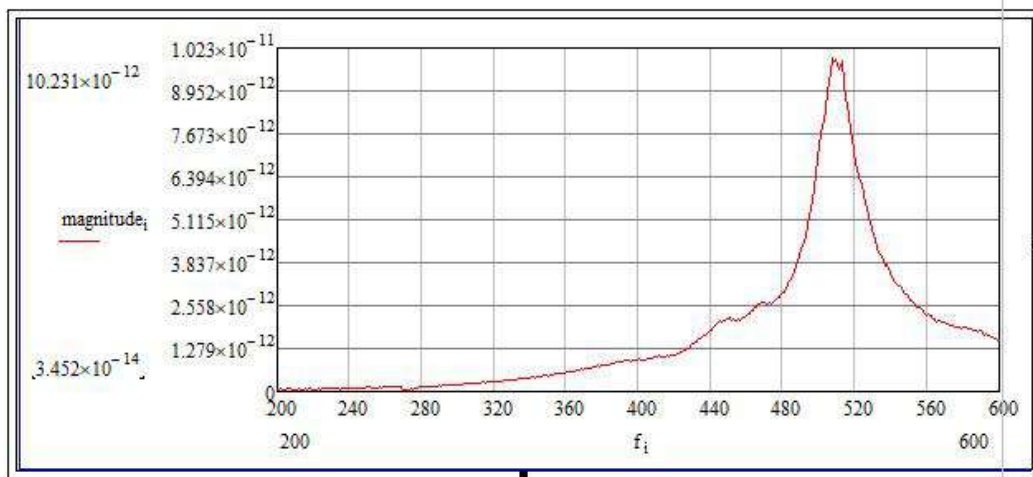


Comment

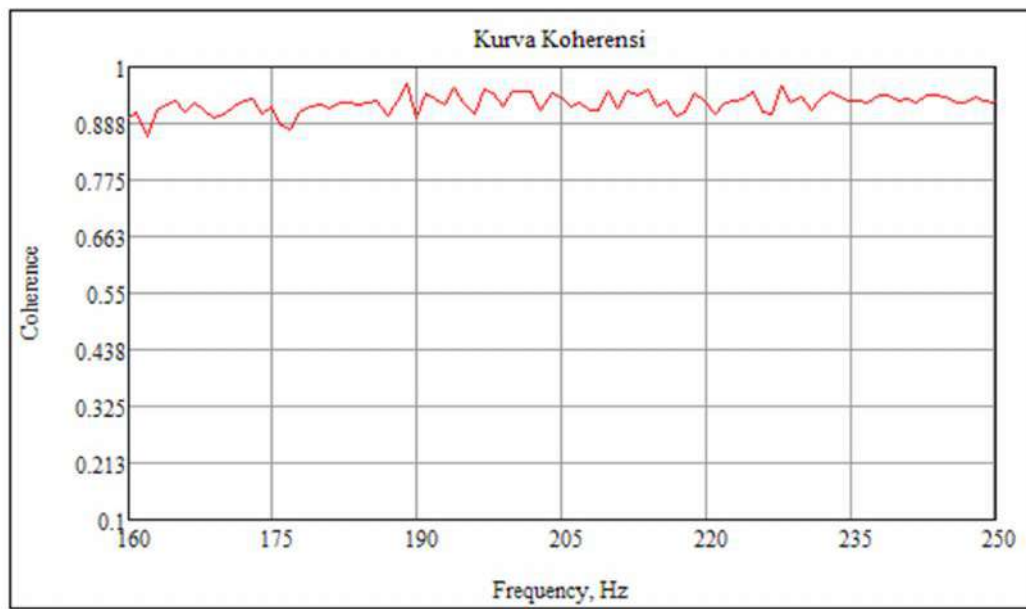
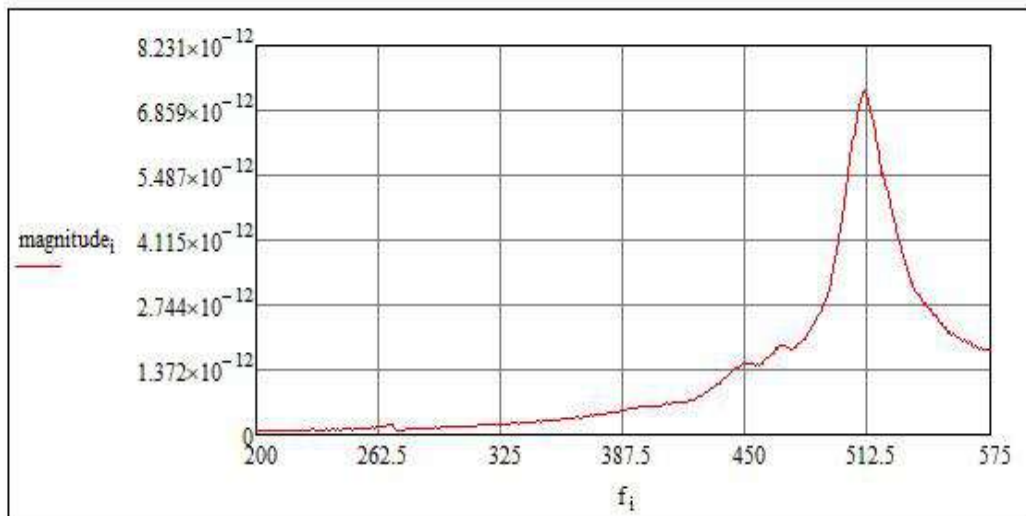


LAMPIRAN
PENGUJIAN GETARAN *SANDWICH PANEL*
KONDISI UTUH

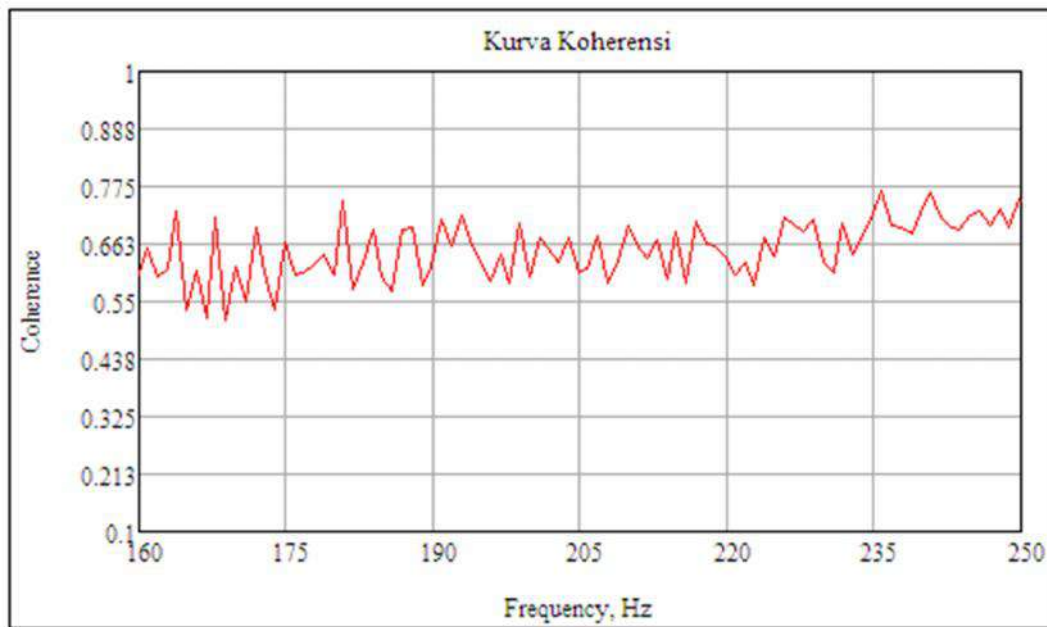
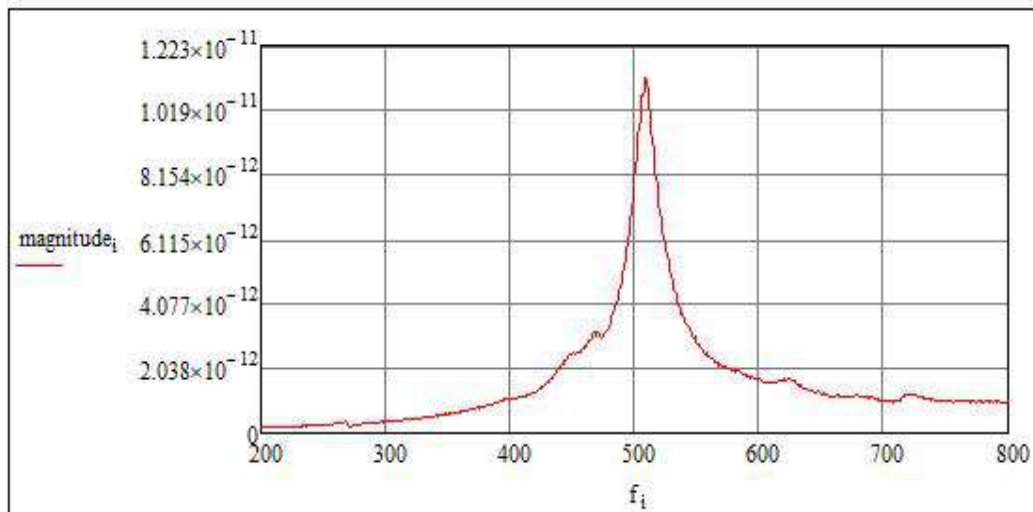
Core material 10 %
Titik pengujian 1mid



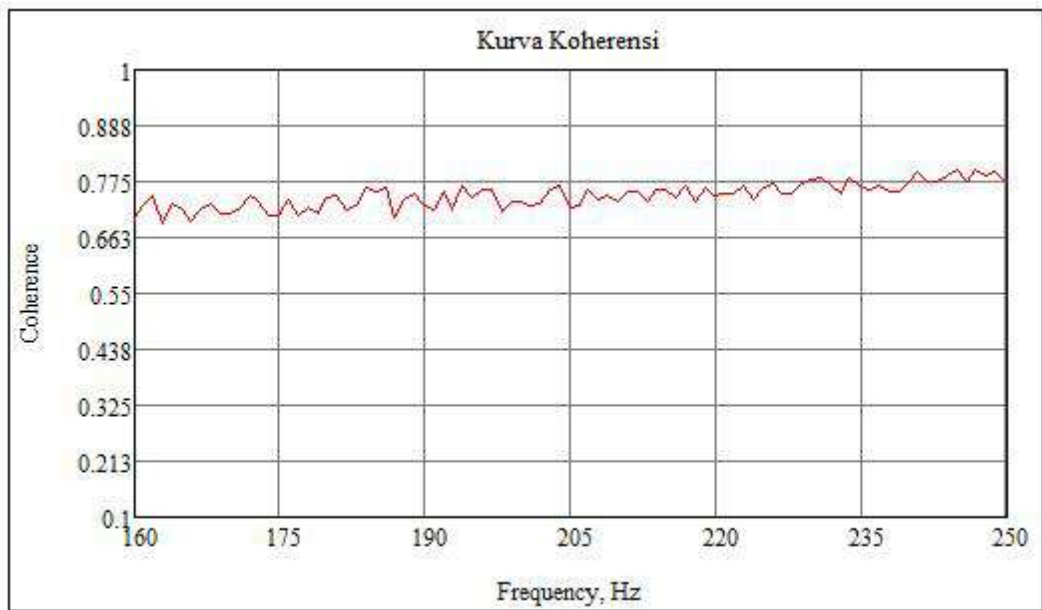
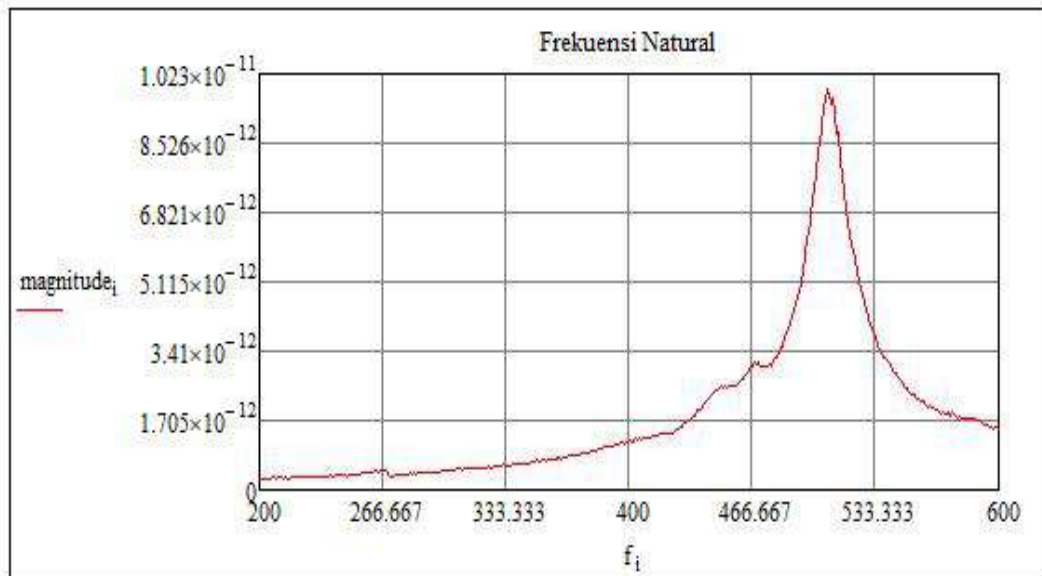
Core material 10 %
Titik pengujian 1Side



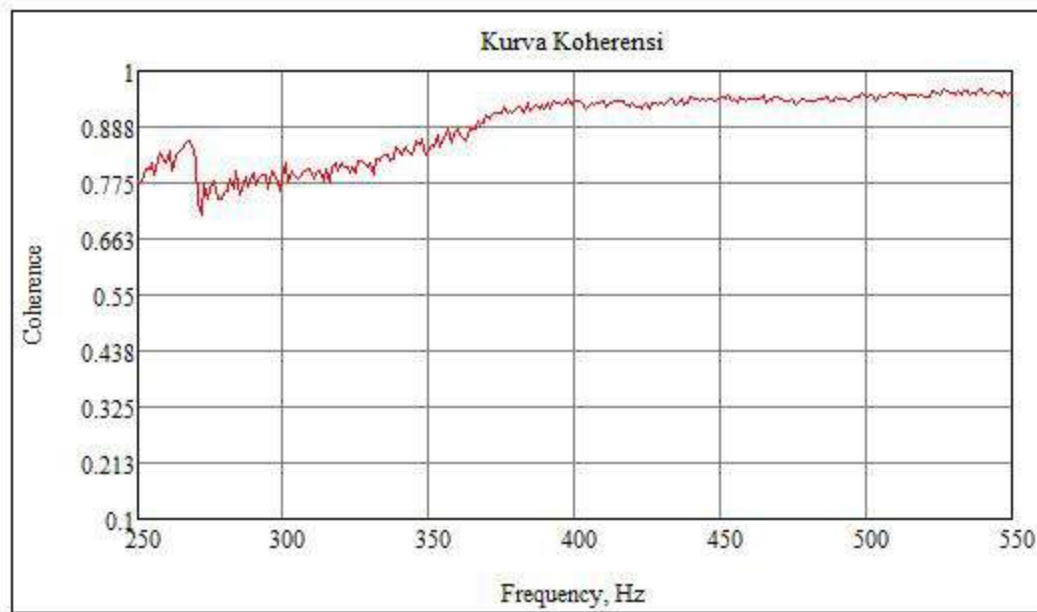
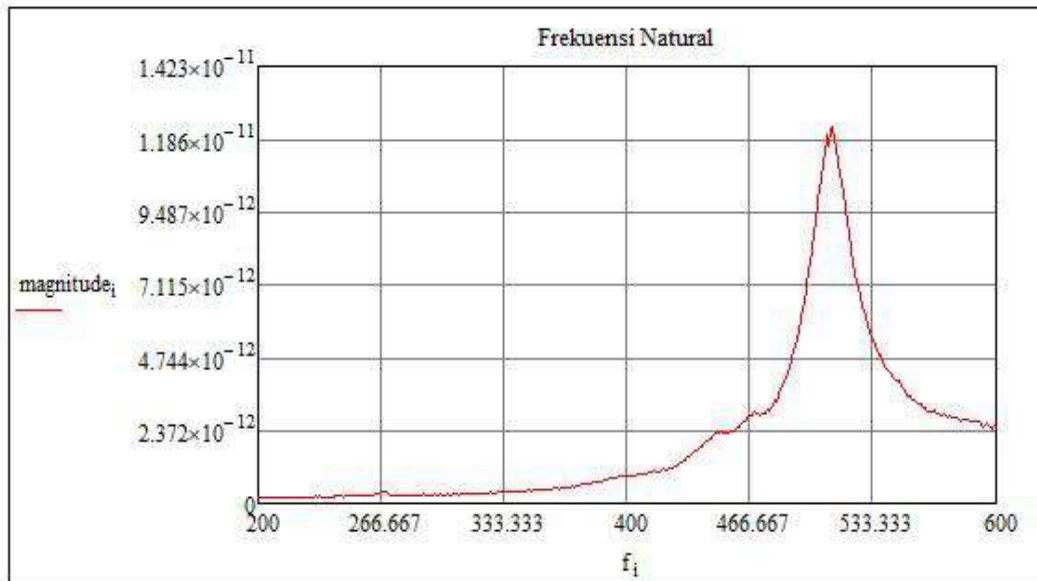
Core material 10 %
Titik pengujian 2 Left



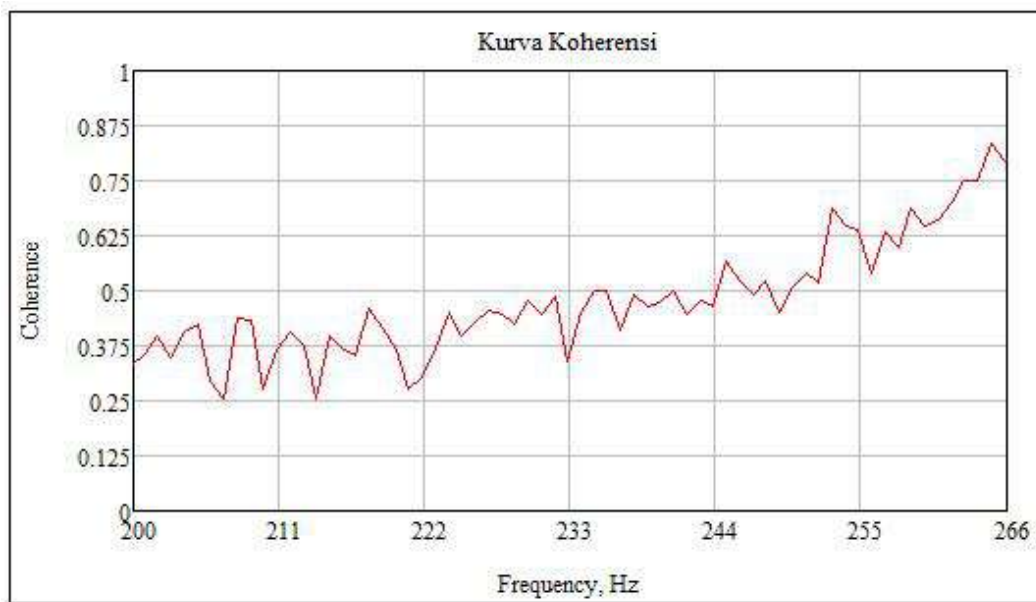
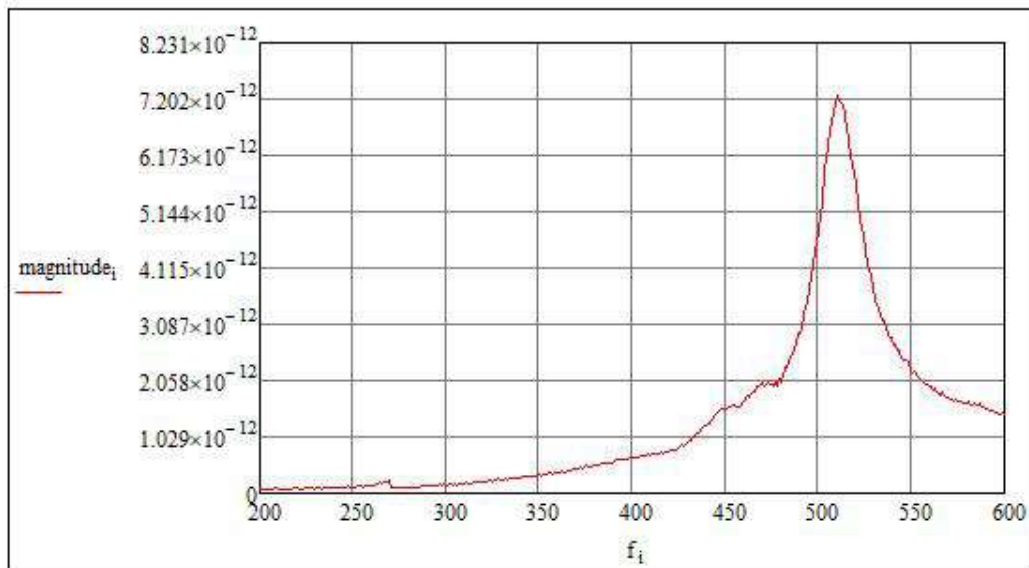
Core material 10 %
Titik pengujian 2 Right



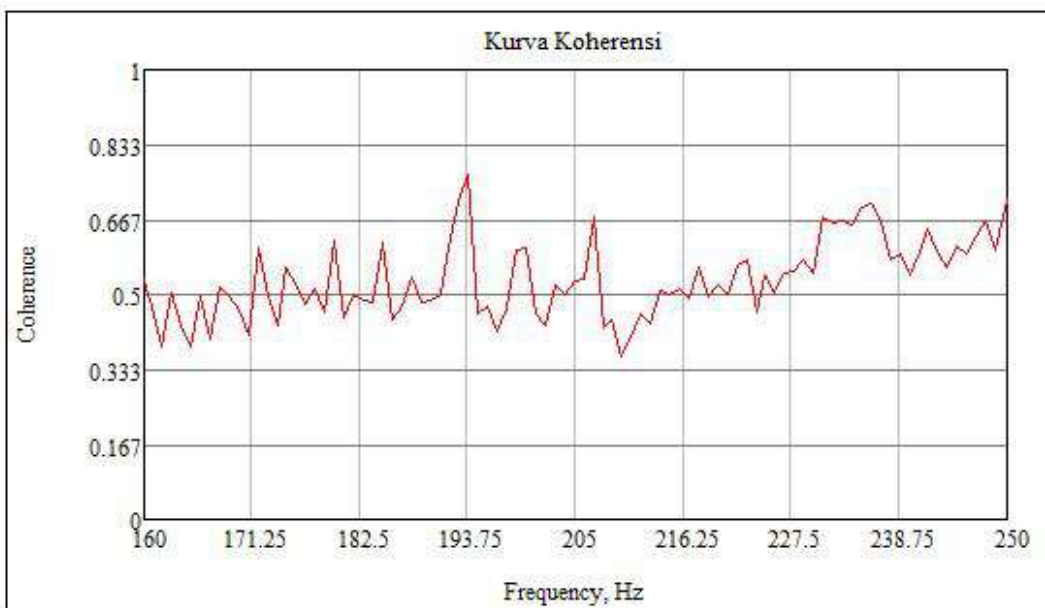
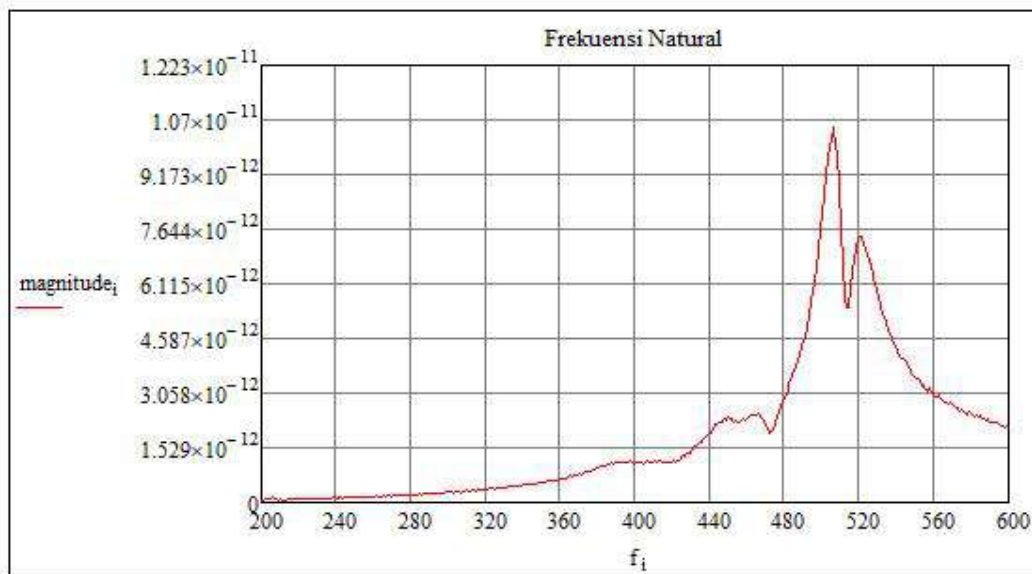
Core material 10 %
Titik pengujian 3 Mid



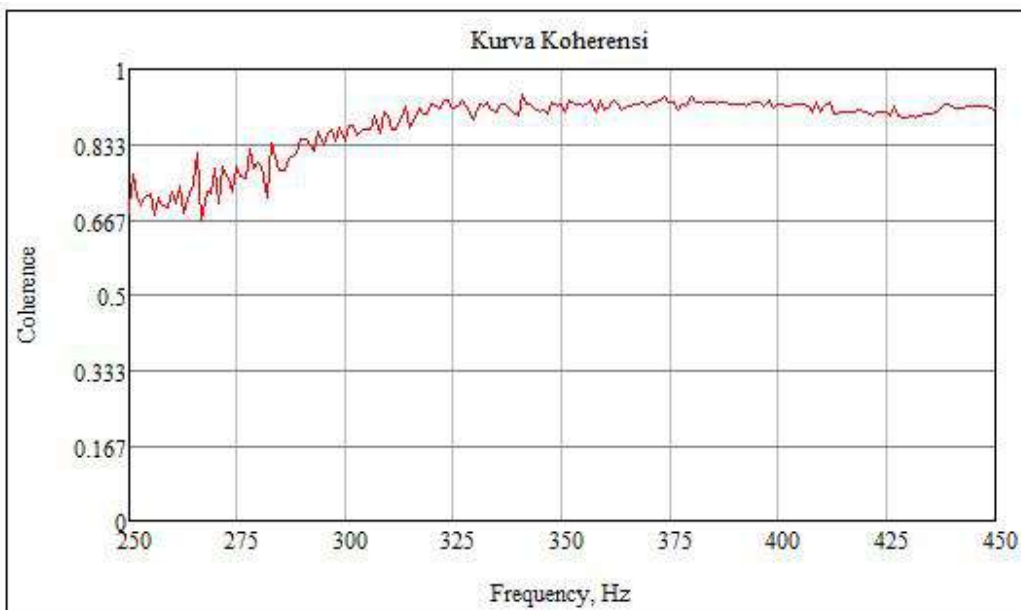
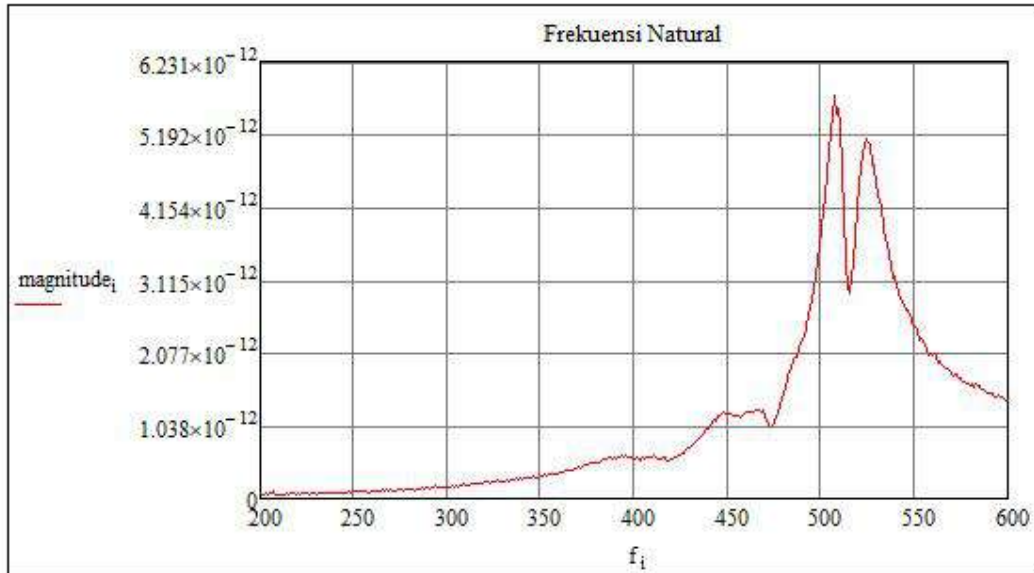
Core material 10 %
Titik pengujian 3 Side



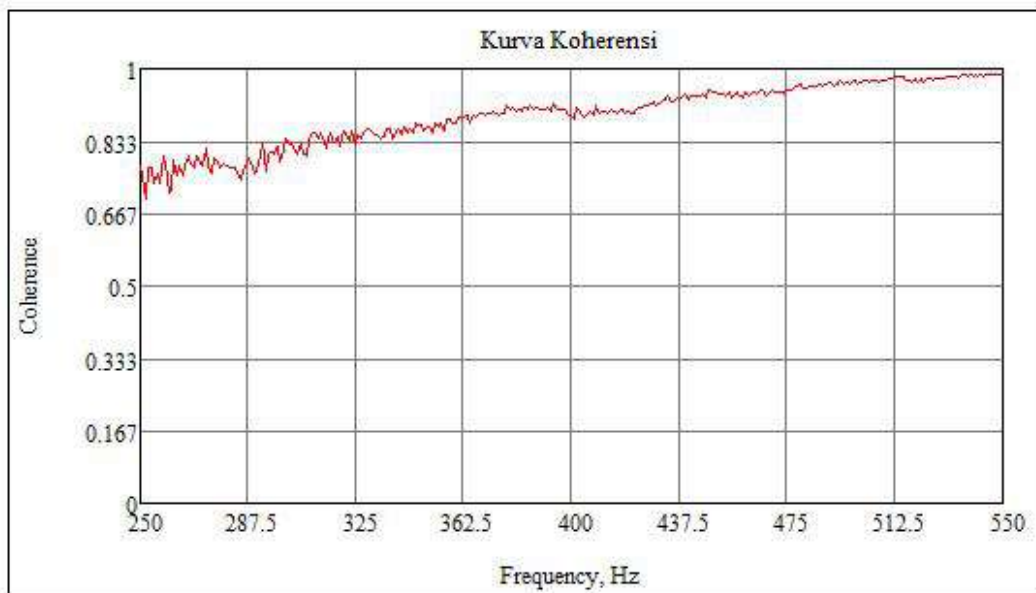
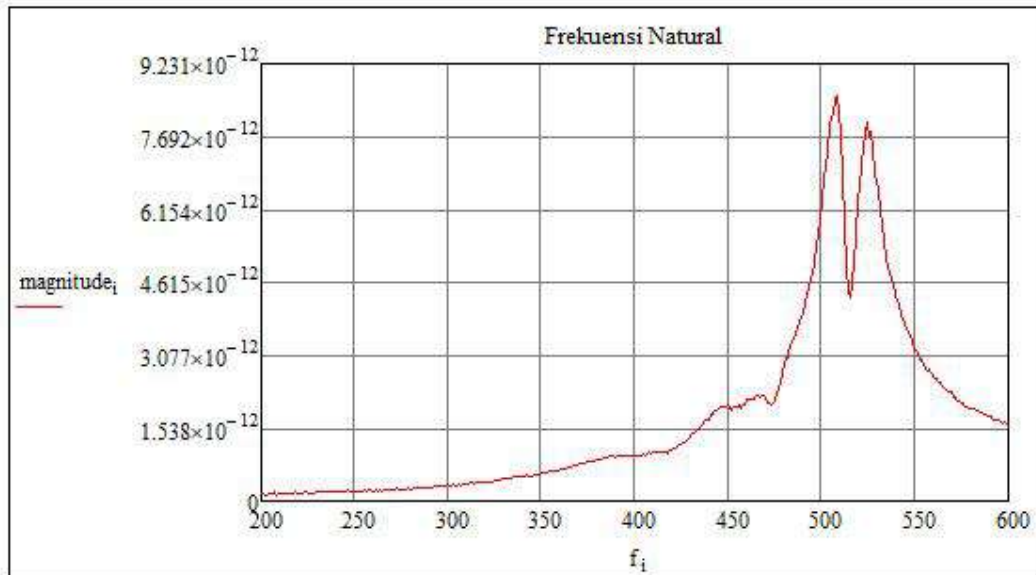
Core material 13 %
Titik pengujian 1 Mid



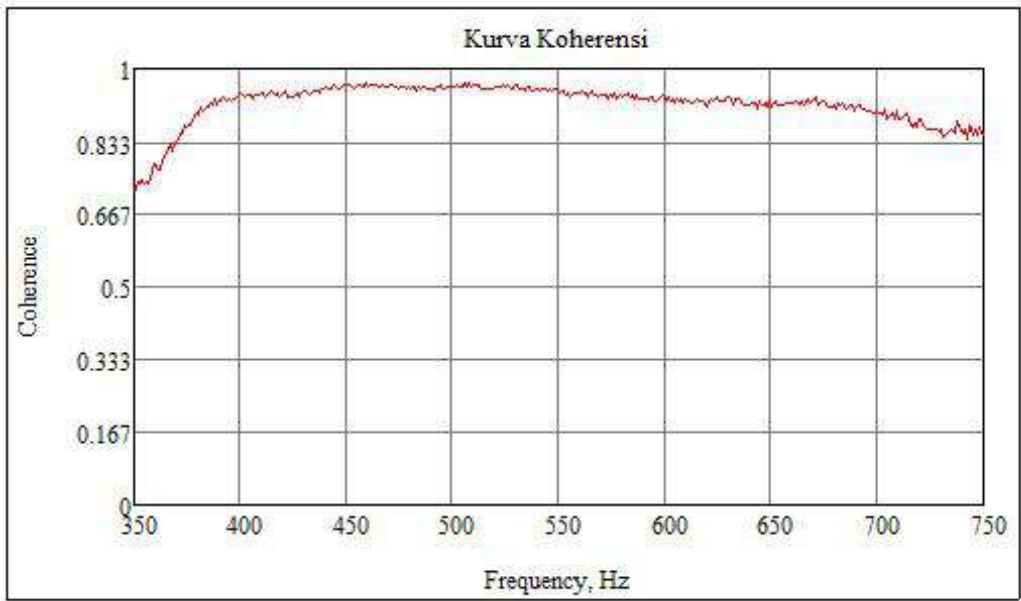
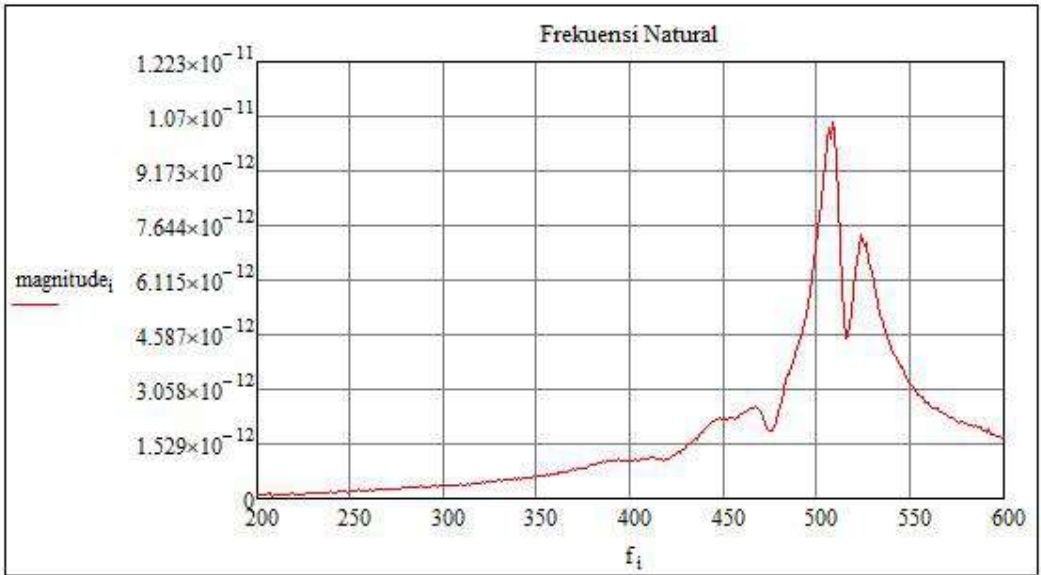
Core material 13 %
Titik pengujian 1 Side



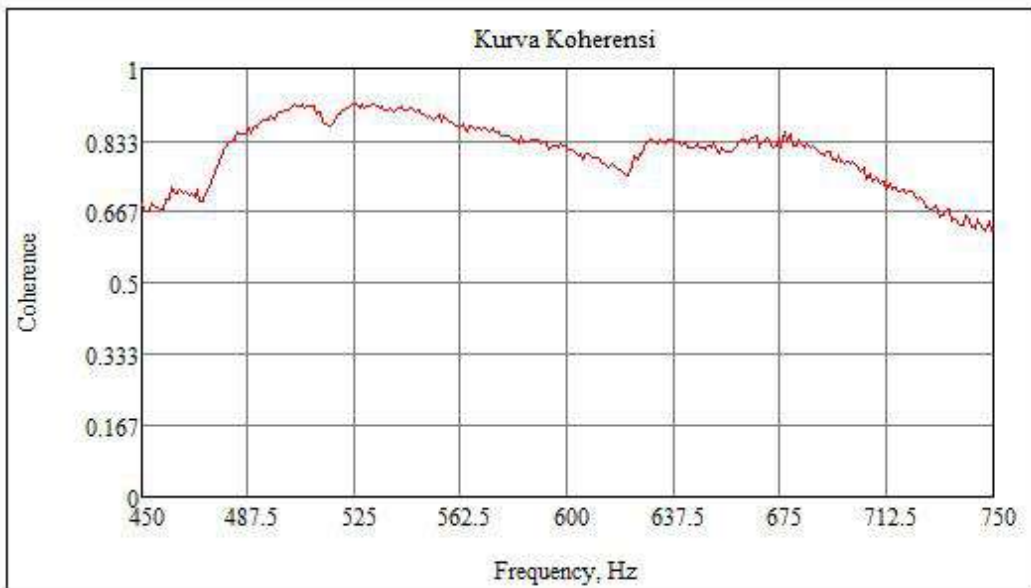
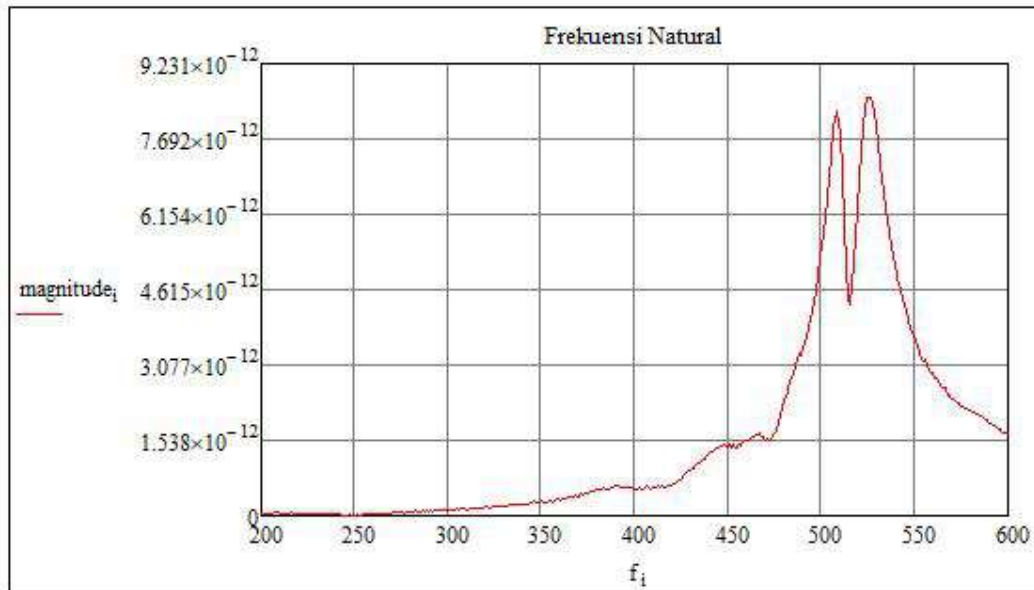
Core material 13 %
Titik pengujian 2 Right



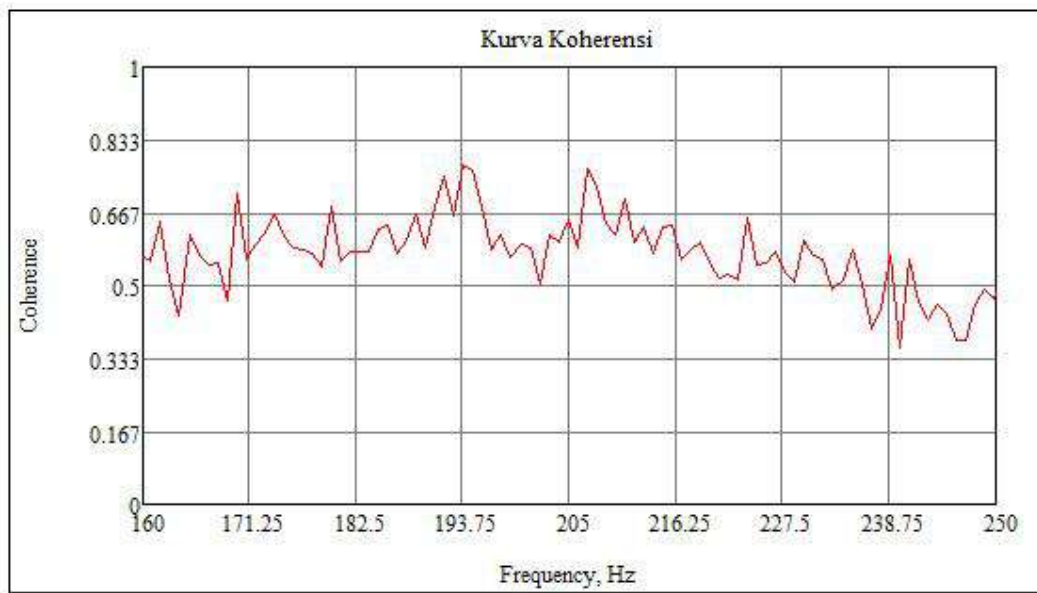
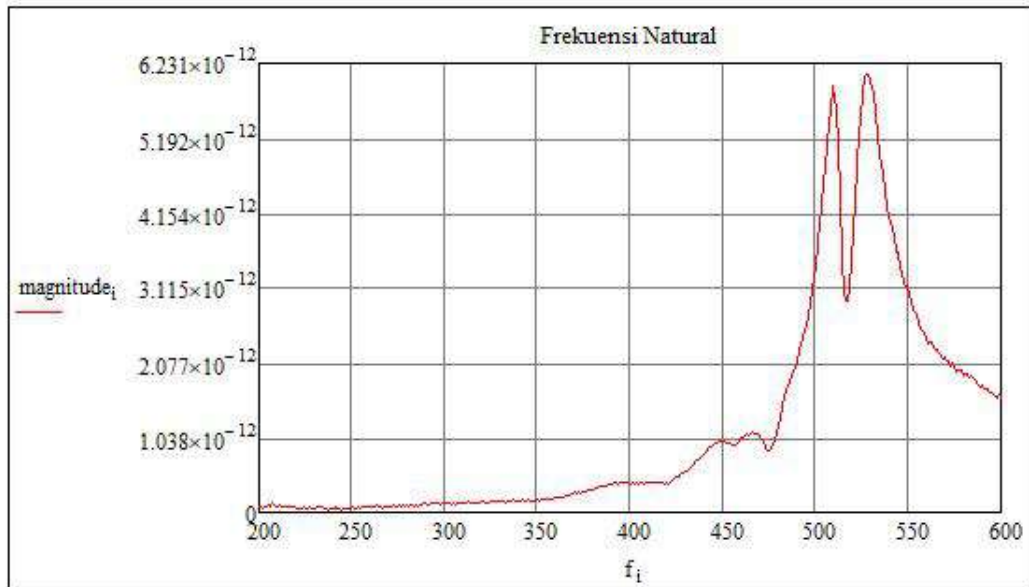
Core material 13 %
Titik pengujian 2 Left



Core material 13 %
Titik pengujian 3 Mid



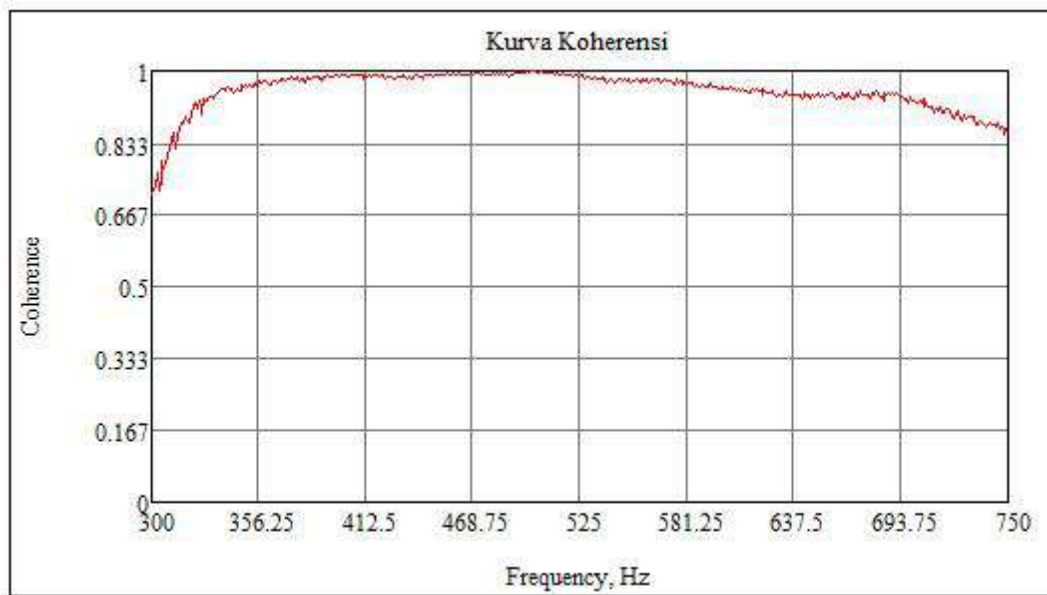
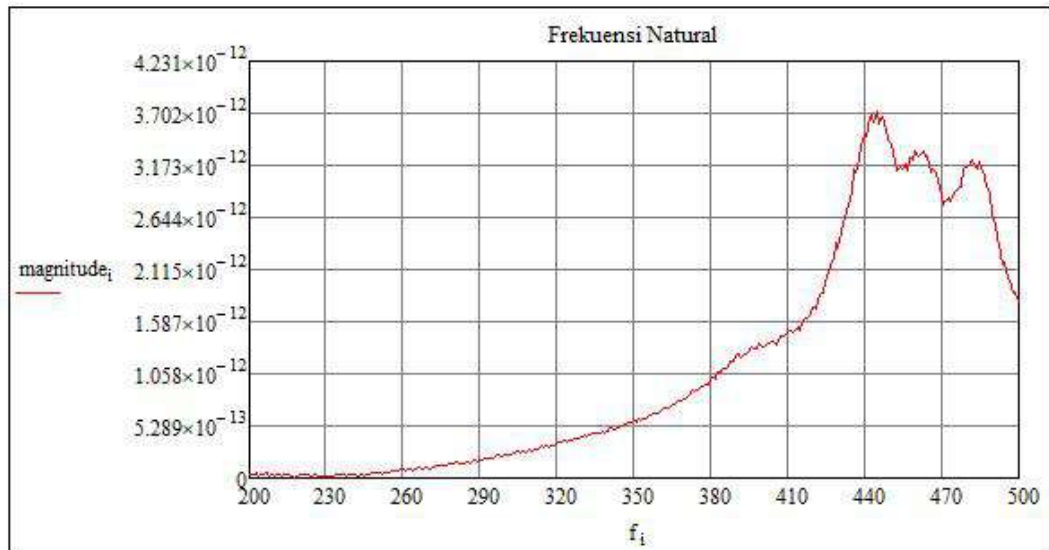
Core material 13 %
Titik pengujian 3 Side



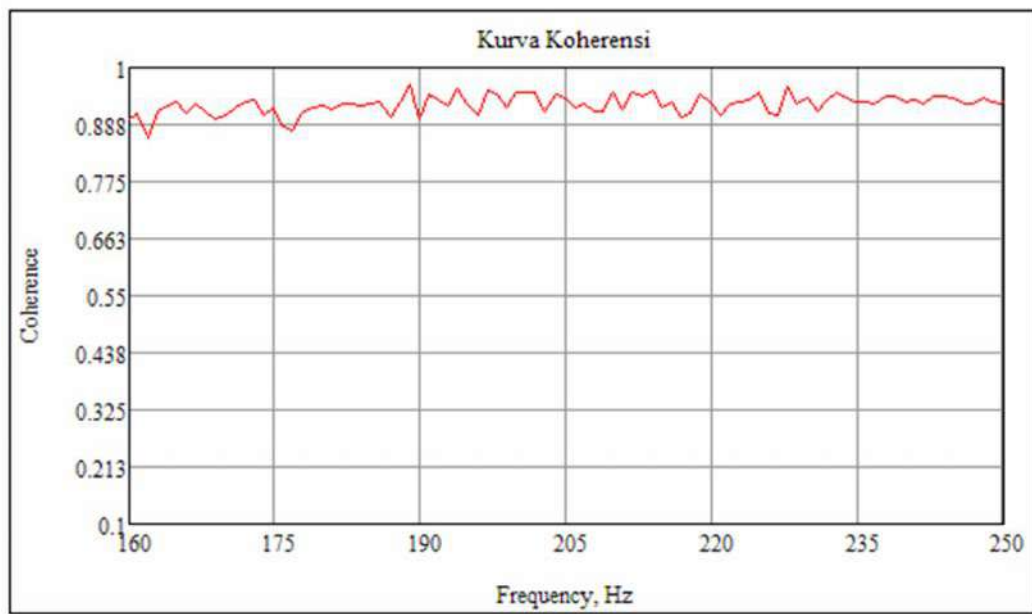
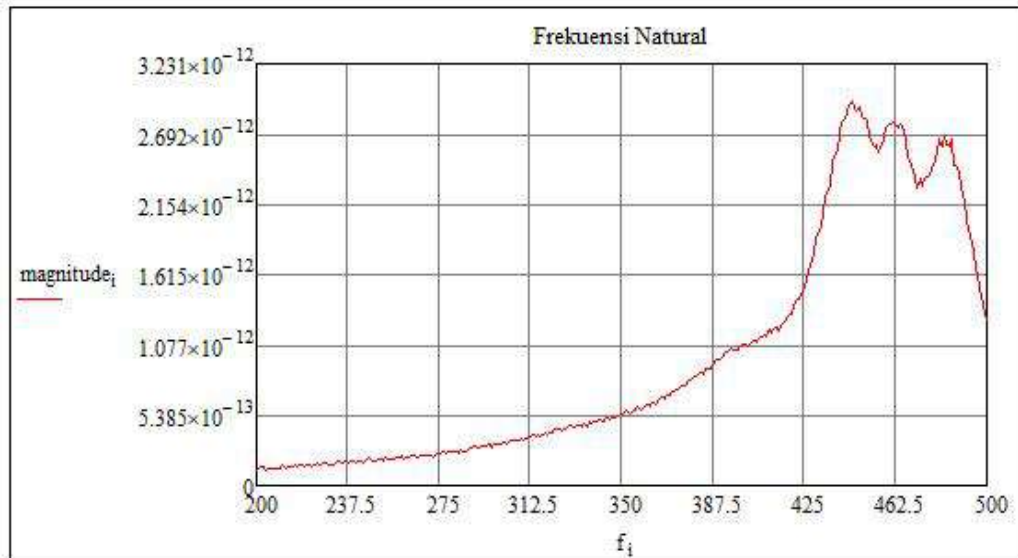


LAMPIRAN
PENGUJIAN GETARAN *SANDWICH PANEL*
KONDISI CACAT

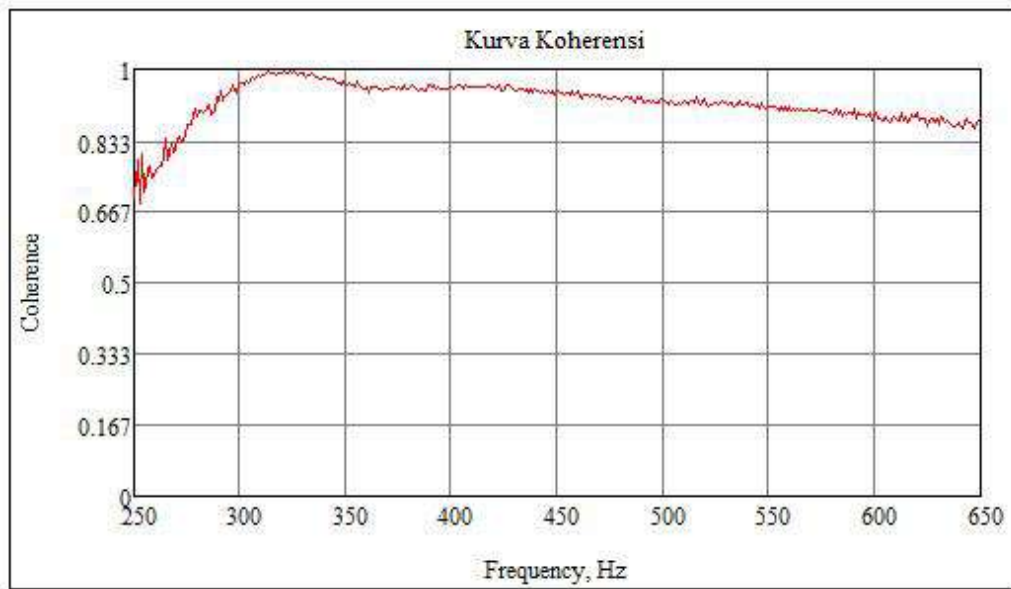
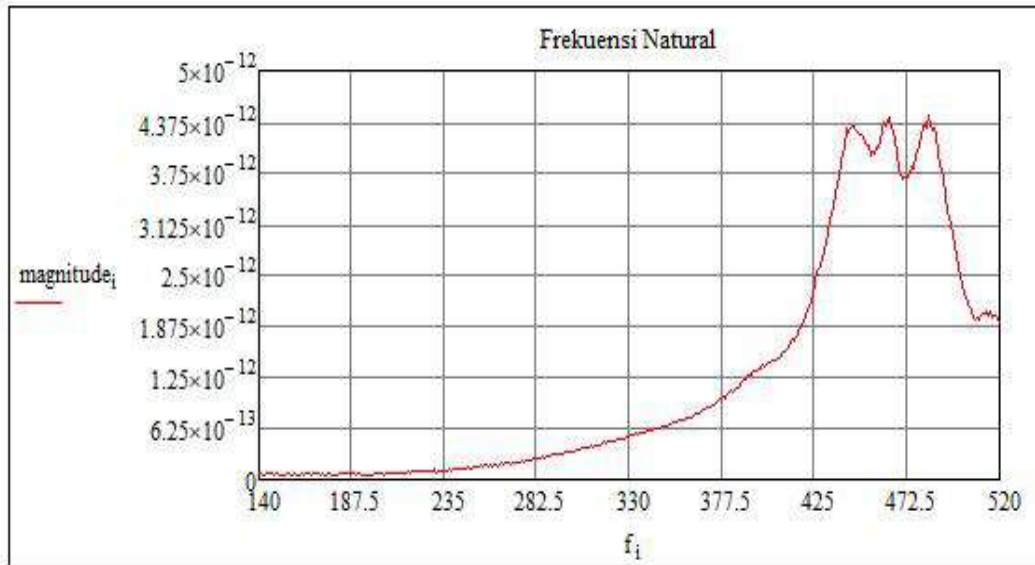
Core material 10 %
Titik pengujian 1 Mid



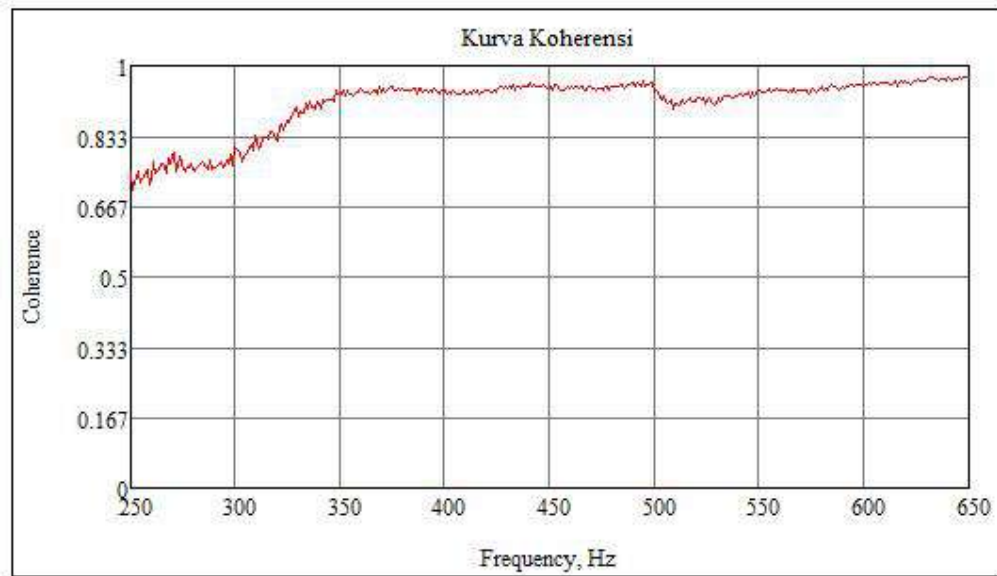
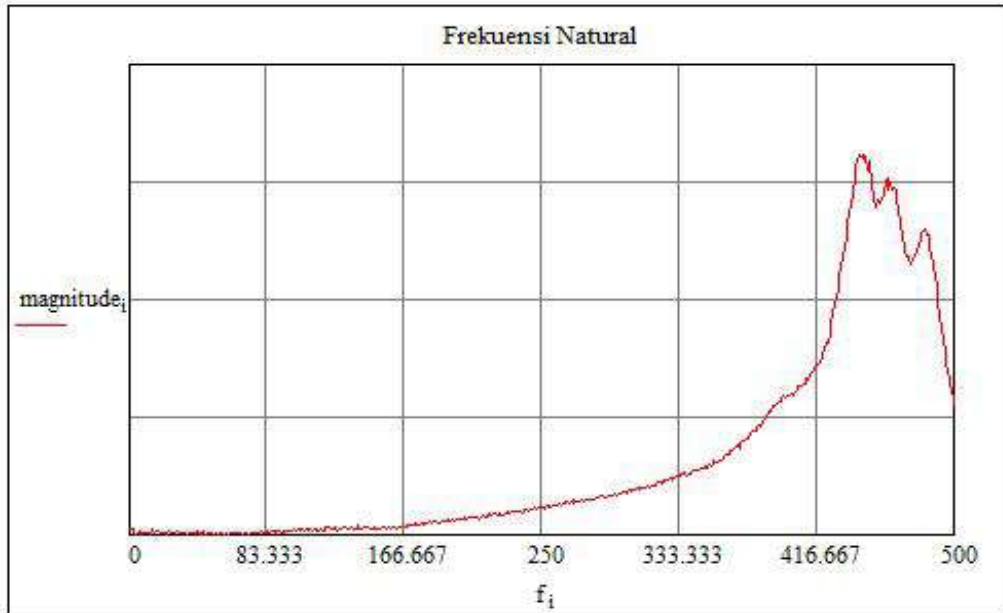
Core material 10 %
Titik pengujian 1 Side



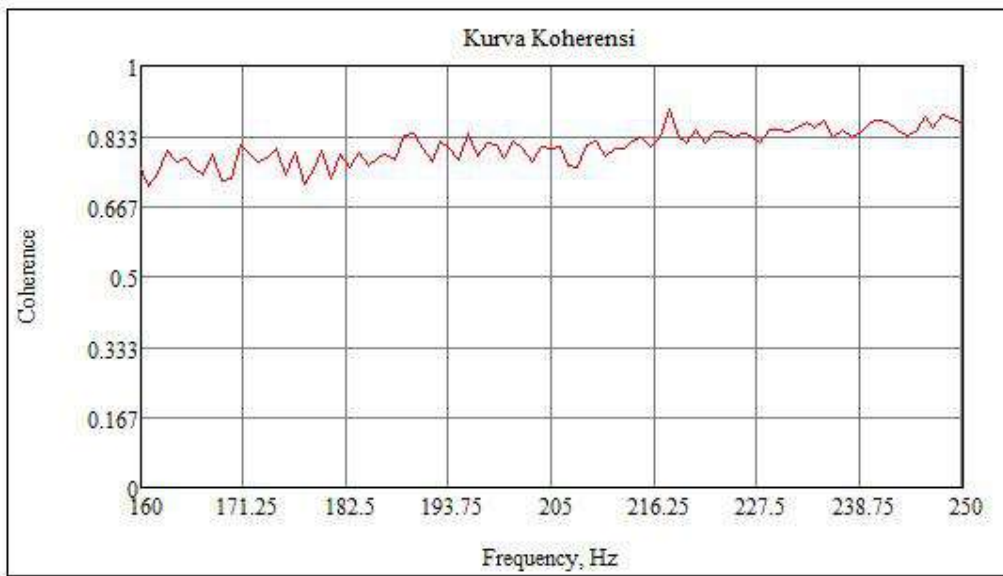
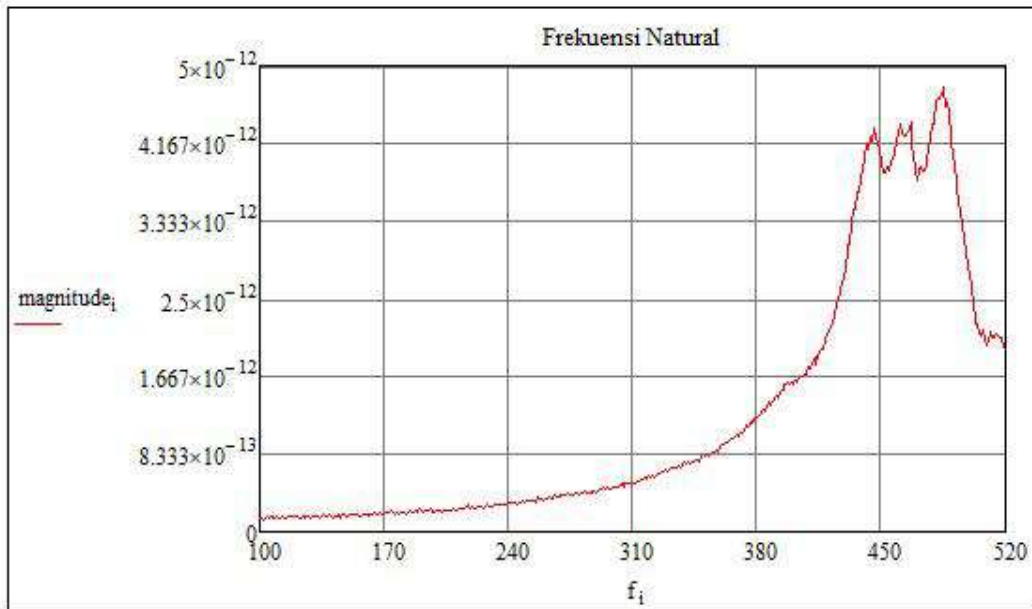
Core material 10 %
Titik pengujian 2 Right



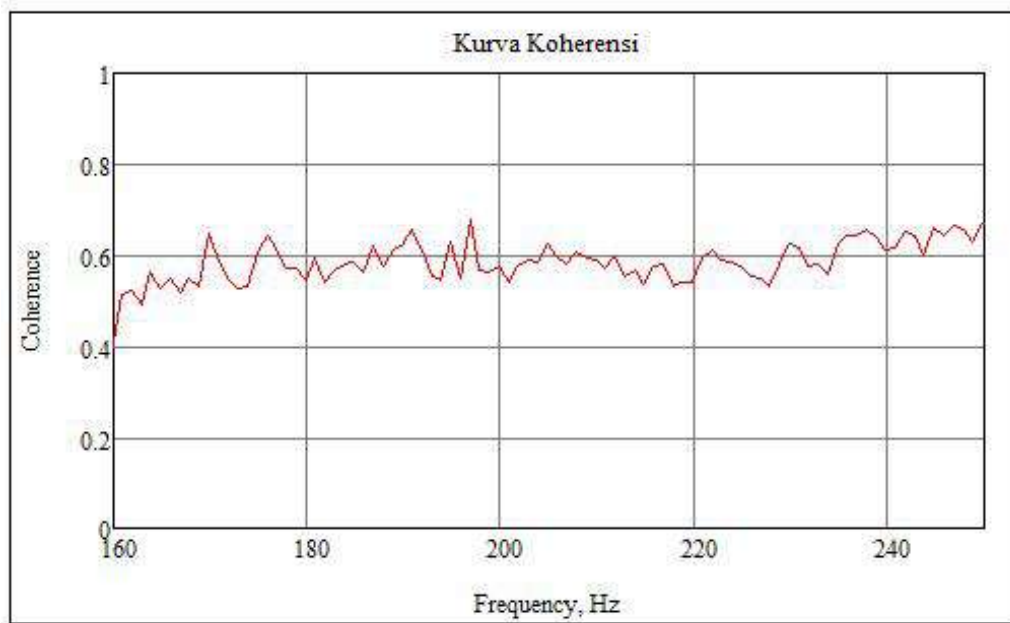
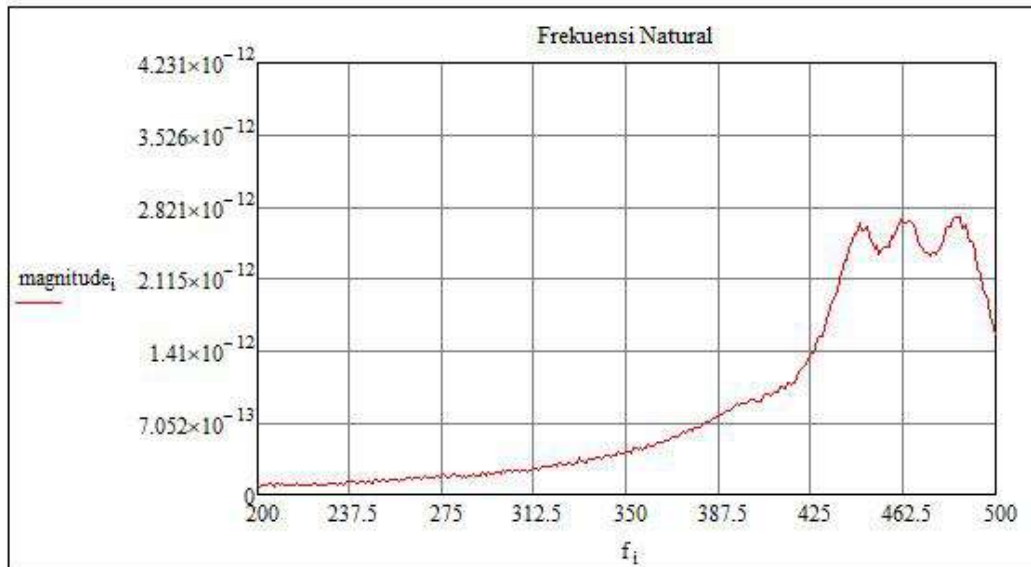
Core material 10 %
Titik pengujian 2 Left



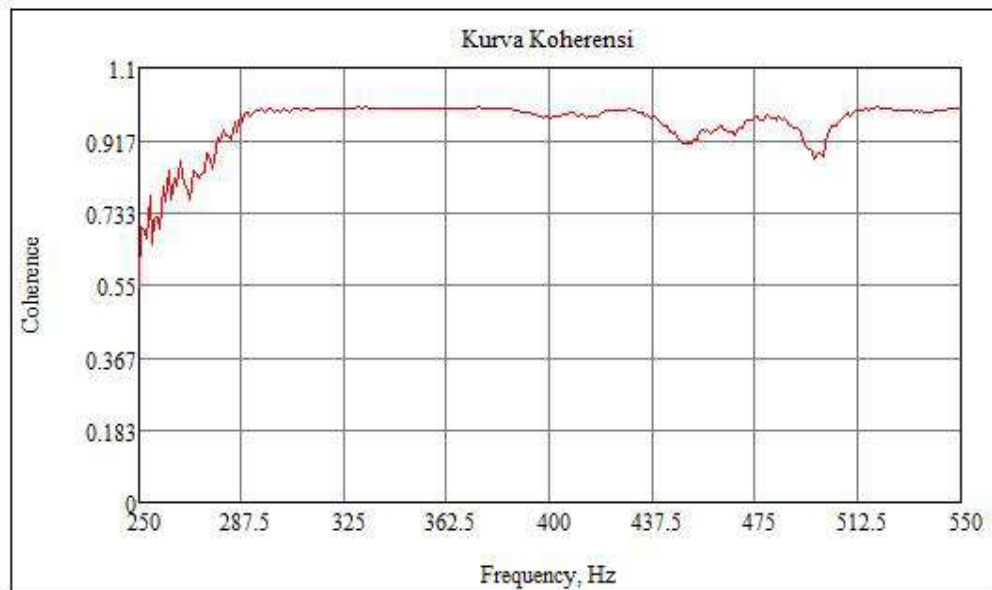
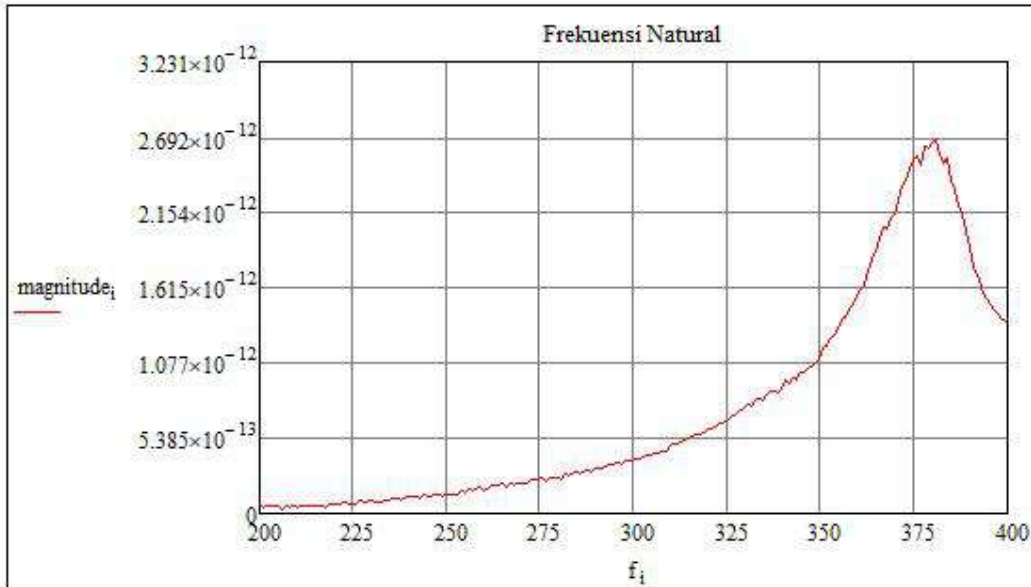
Core material 10 %
Titik pengujian 3 Mid



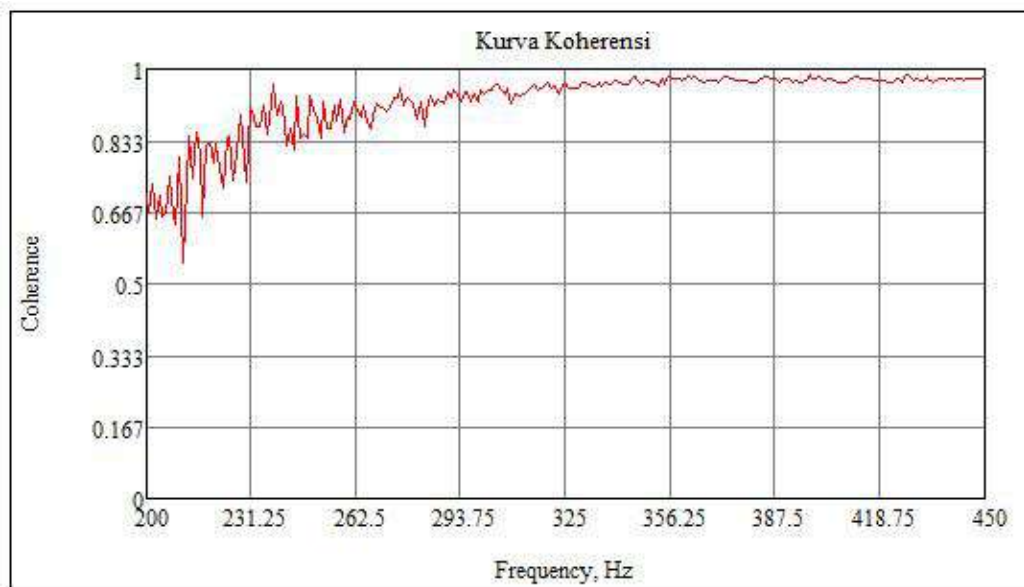
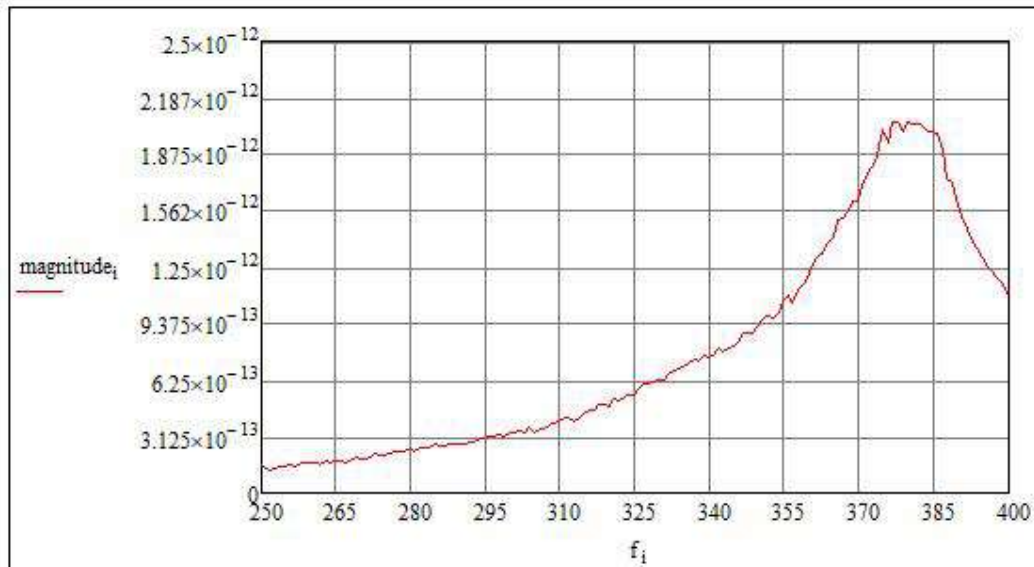
Core material 10 %
Titik pengujian 3 Side



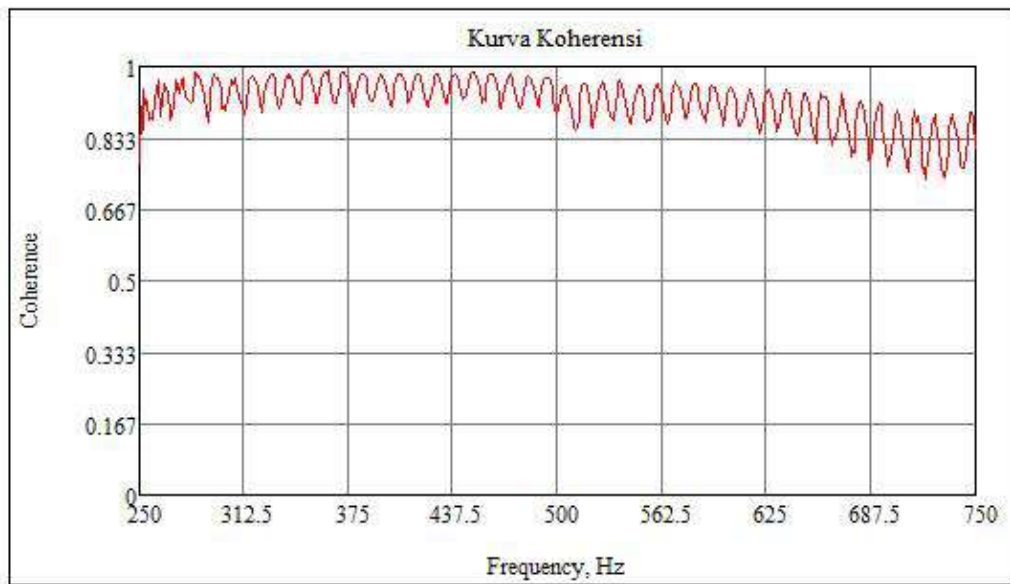
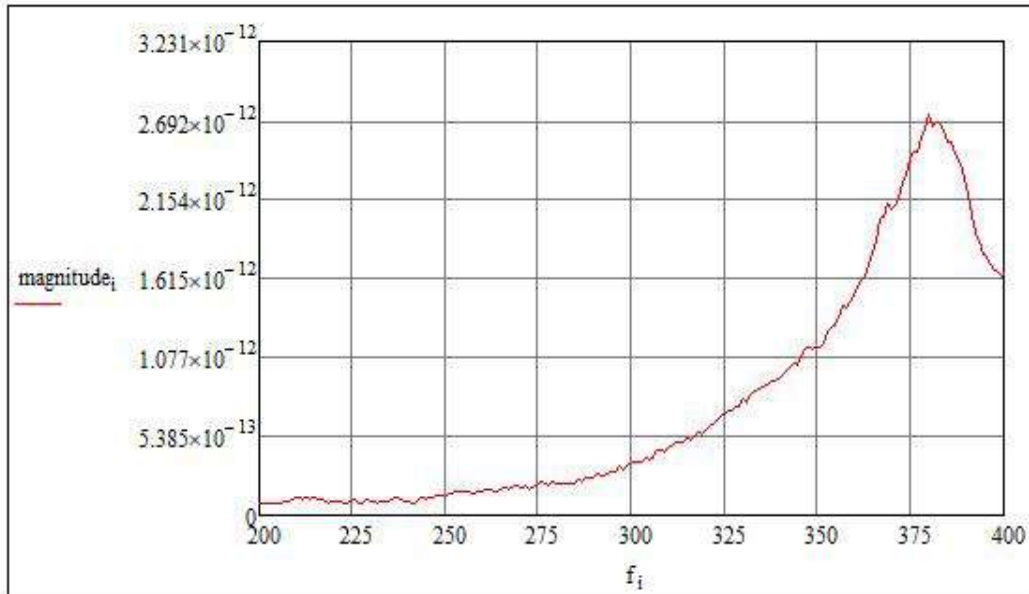
Core material 13 %
Titik pengujian 1 Mid



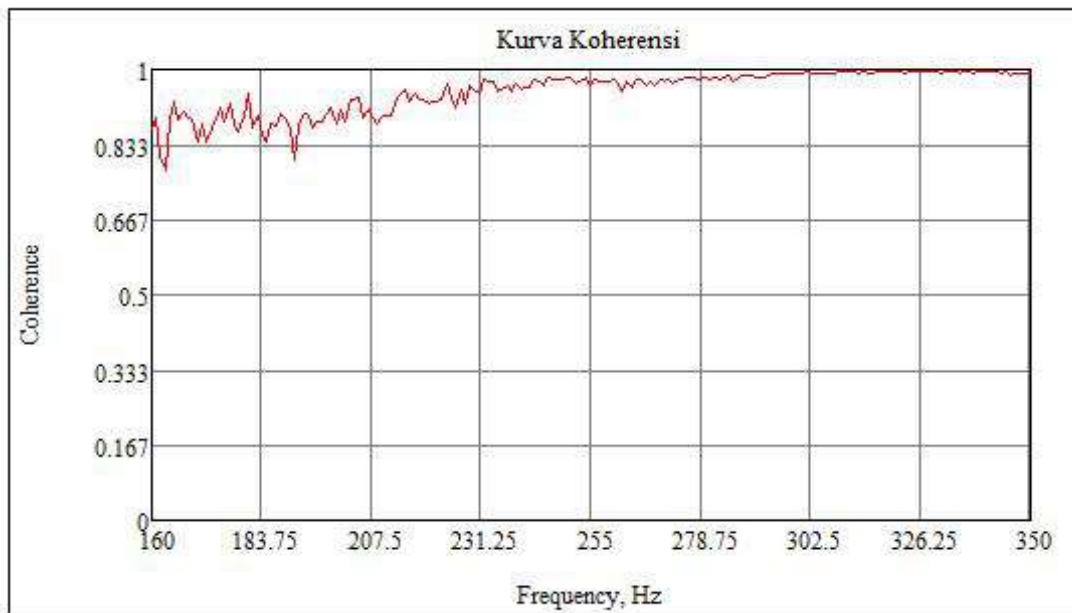
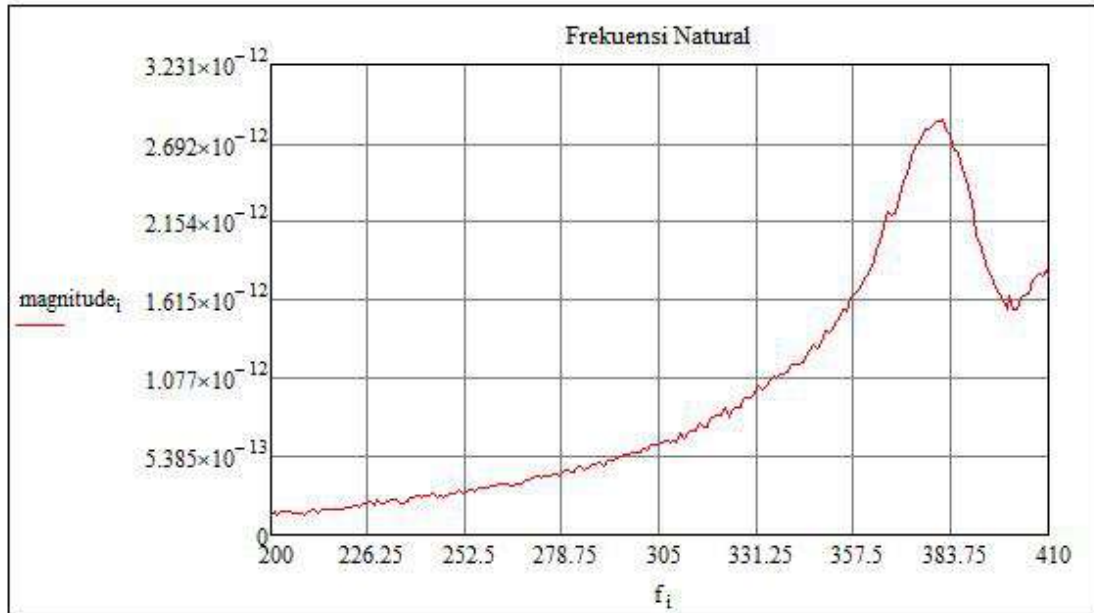
Core material 13 %
Titik pengujian 1 Side



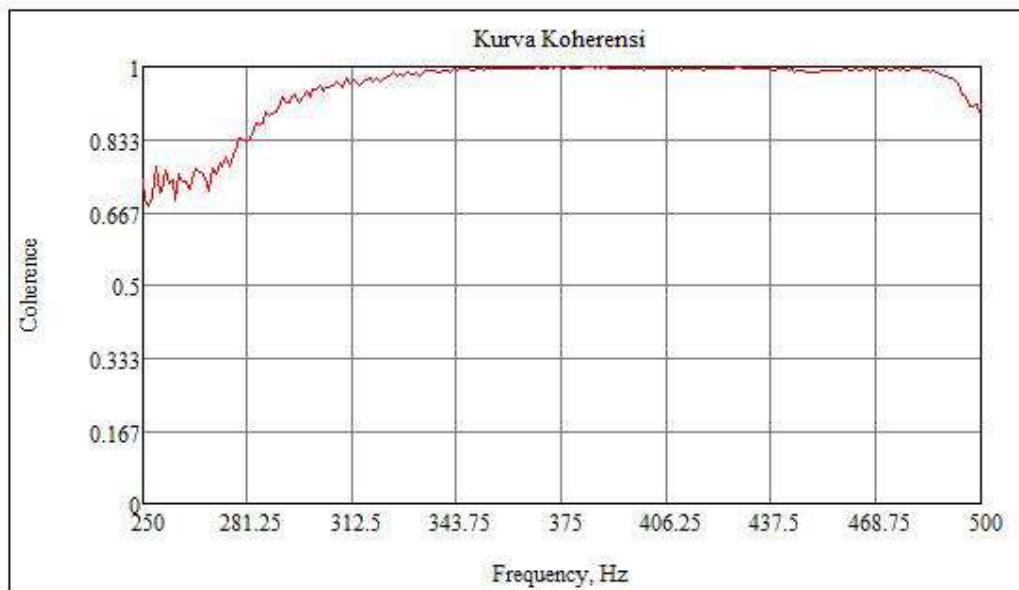
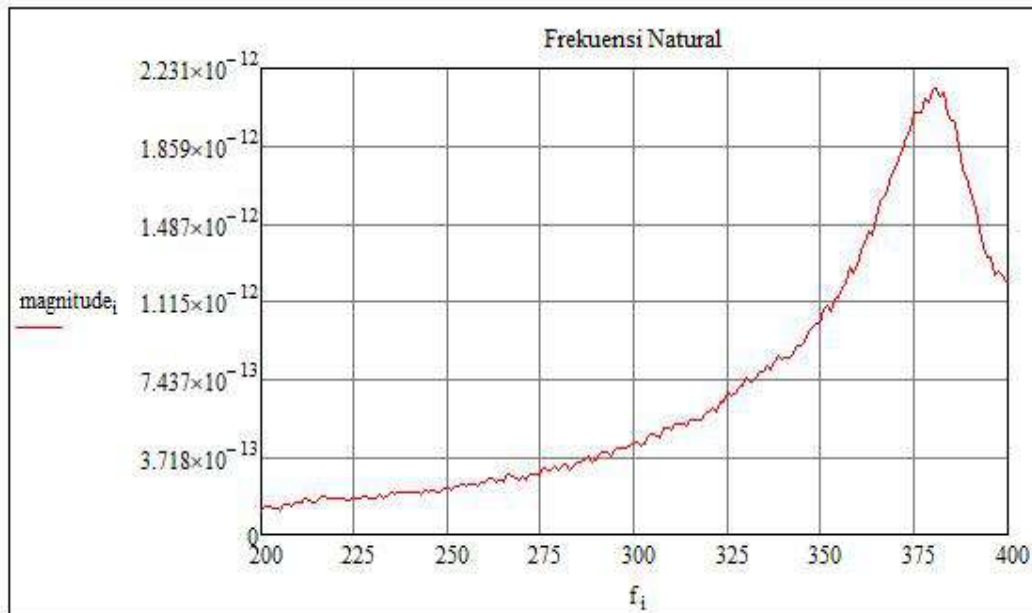
Core material 13 %
Titik pengujian 2 Right



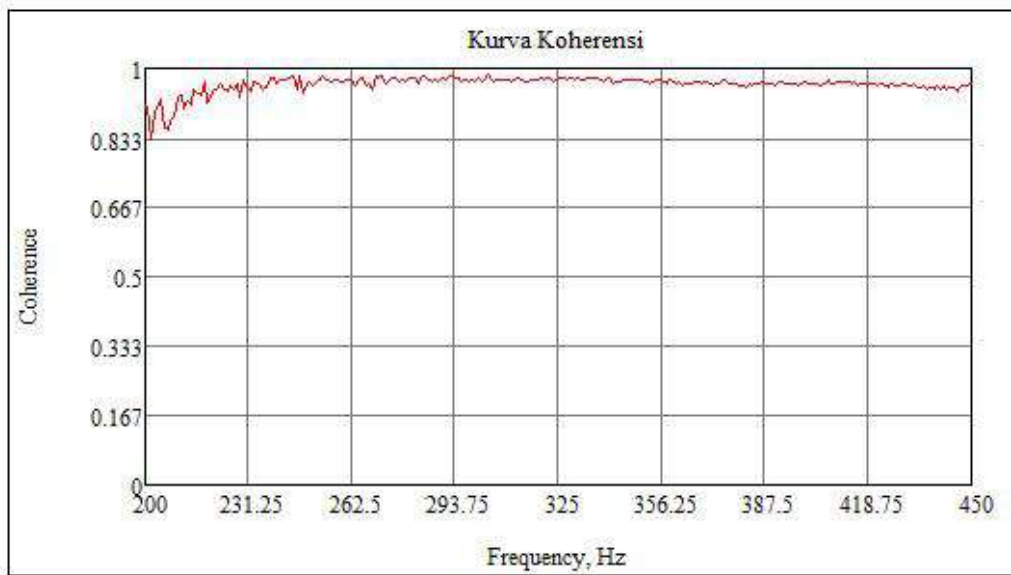
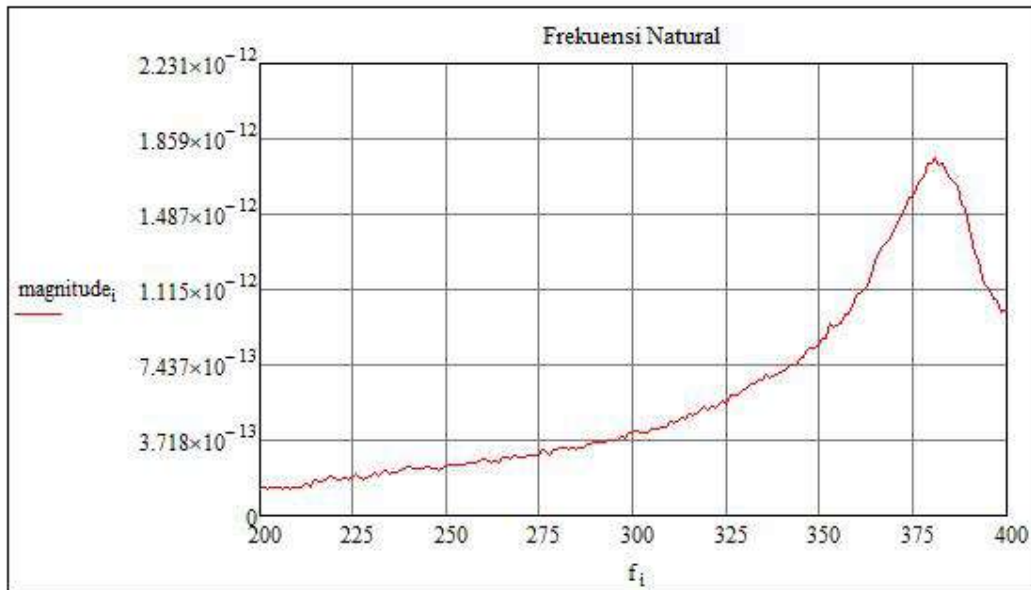
Core material 13 %
Titik pengujian 2 Left



Core material 13 %
Titik pengujian 3 Mid



Core material 13 %
Titik pengujian 3 Side





LAMPIRAN

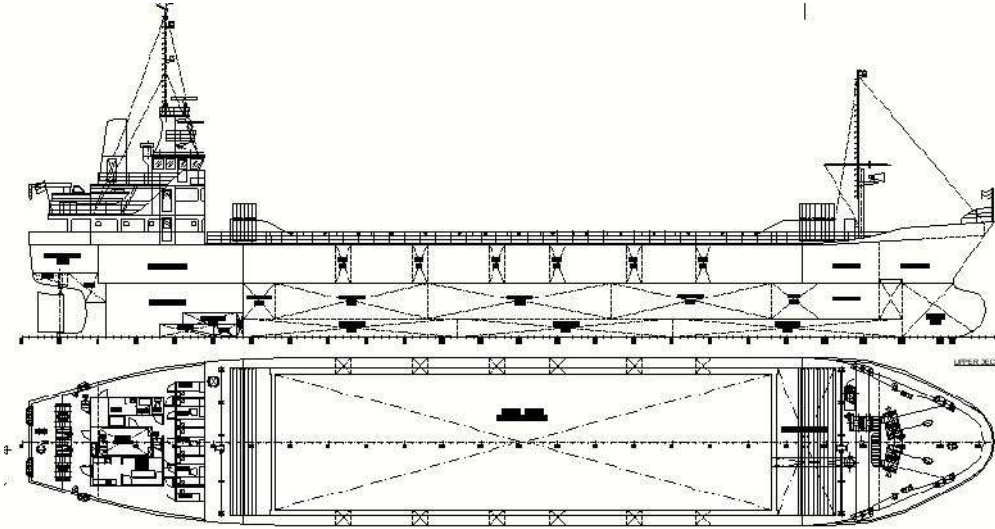
PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA



DATA KAPAL

Nama Kapal	: KM. ASIA PESONA
Type Kapal	: GENERAL CARGO
Kelass	: BKI

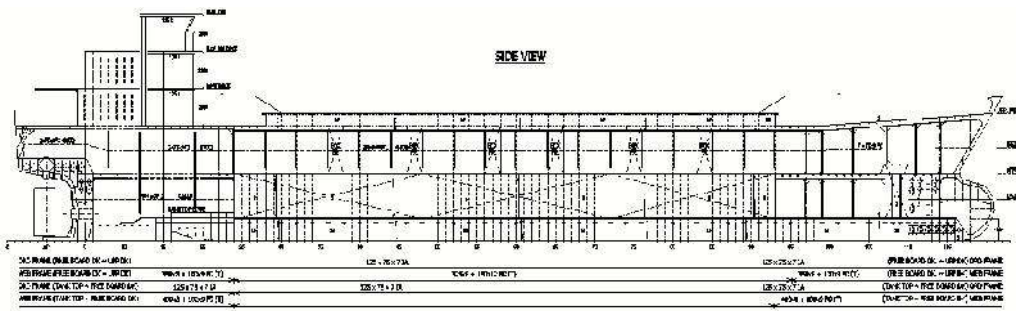
1. GENERAL ARRANAGMENT



II. UKURAN UTAMA KAPAL

- Type	= General Cargo
- Length of Over All, (LOA)	= 75.5 m
- Length Water Line, (LWL)	= 72.48 m
- Length Between Perpendicular, (LPP)	= 70 m
- Breadth , (B)	= 12.5 m
- Height, (H)	= 6.9 m
- Draught, (T)	= 4 m
- Design Sea Speed, (Vs)	= 14 KT
- Mean Engine	= 1800 PS
- GT	= 1497 Ton

III. KONTRUKSI



Kontruksi dengan menggunakan sandwich panel haya dilakukan pada struktur plat datar, dengan data eksisting seperti yang di uraikan pada tabel dibawah ini:

Nama bagian	Luas (m ²)	Tebal Plat (m)	Volume (m ³)	Berat Plat (Ton)
- Whell House	21	0.006	0.126	0.989
- Navigation Deck	52.8	0.006	0.3168	2.487
- Boat Deck	152.5	0.006	0.915	7.183
- Upper Deck	622.5	0.008	4.98	39.093
- Freeboat Deck	290	0.008	2.32	18.212
- Tank Top	750	0.012	9	70.650
Total				138.614

Berat jenis baja 7.85 T/m³

LAMPIRAN PERHITUNGAN BEBAN KONSTRUKSI PLAT TANK TOP

Diketahui : $L_{wl} = 72.48 \text{ m}$
 $L_{pp} = 70.00 \text{ m}$

Maka :

$96\% L_{wl} = 69.58 \text{ m}$

$97\% L_{wl} = 70.31 \text{ m}$

Sehingga :

$L = 70.00 \text{ m}$

$B = 12.5 \text{ m}$

$T = 4 \text{ m}$

$D = 6.9 \text{ m}$

$C_b = 0.7 \text{ m}$

$V = 14 \text{ knots}$

Load on Inner Bottom (Alas Dalam Kapal)

Beban pada alas dalam kapal dihitung berdasarkan formula:

$$P_i = 9,81 \cdot \left(\frac{G}{V}\right) \cdot h \cdot (1 + a_v) \quad [\text{kN/m}^2]$$

G = berat muatan dalam ruang muat (berat terbesar) [Ton]

V = volume ruang muat $[\text{m}^3]$

$$\frac{G}{V} = 0.625 \quad \text{SF} \quad 1.6$$

h = tinggi permukaan teratas cargo di atas alas dalam

$h_{db} = 1.00 \text{ m}$

$h = H - h_{db} \text{ m}$

$h(A) = 5.90 \text{ m}$

$h(M) = 5.90 \text{ m}$

$h(F) = 5.90 \text{ m}$

$a_v = F \cdot m$

$m = m_0 - 5(m_0 - 1)x/L$

$m = 1$

$m = 1 + [(m_0 + 1)/0.3] \cdot [x/L - 0.7] \quad , \text{ untuk } 0.7 \leq x/L \leq 1.0$

$F = 0,11[V_0/(L)^{0.5}]$

$V_0 = 14 \text{ knot}$

$= 0.11 \times (14/(70)^{0.5})$

$= 0.18$

sehingga,

$$m_o = (1.5 + F)$$

$$m_o = 1.5 + 0.18$$

$$= 1.68$$

Daerah 0 $x/L < 0.2$ [A]

$$m = m_o - 5(m_o - 1)x/L$$

$$= 1.68 - 5(1.68 - 1)0.15$$

$$= 1.17$$

$$a_v = 0.18 \times 1.17$$

$$= 0.22$$

maka,

$$P_i = 9.81 \times 0.000 \times 0.00 \times (1 + 0.22)$$

$$= 43.97 \quad \text{kN/m}^2$$

Daerah 0.2 $x/L < 0.7$ [M]

$$m = 1$$

$$a_v = 0.18 \times 1.17$$

$$= 0.18$$

maka,

$$P_i = 9.81 \times 0.000 \times 0.00 \times (1 + 0.18)$$

$$= 42.83 \quad \text{kN/m}^2$$



LAMPIRAN 2

KALKULASI KETEBALAN PANEL SANDWICH

Nama Kapal : KM. ASIA PESONA
 Type Kapal : GENERAL CARGO
 Sistem Konstruksi :
 Sumber Data : PT. ASIA MANDIRI LINES
 Kelas : BKI

I. KETEBALAN MINIMUM LAPISAN FACE PLATE

Ketebalan minimum dari rancangan panel sandwich, dihitung berdasarkan persamaan berikut ini, berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh LR (2015).

Tabel A : Minimum thicknesses

Item	Minum thickness in mm	
	New contruction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness

The thickness of the core is not to be less than:

$$t_c = 15 \text{ mm}$$

Tabel B : Thickness allowance

Structure	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
Bottom shell	1	0	1
Side shell	1	0	1
Inner bottom, hopper plating	2	1	1
Inner bottom, at crown of tank	3.5	1	2.5
Strength deck	3.5	2	0
Internal deck	0	0.0	0
Superstructure Deck	0	0.0	0
Watertight bulkheads	0	0.0	0
Deep tank bulkheads	2.5	0.0	2.5
Deep tank crown which is also a deck	3.5	1.0	2.50
Vehicle deck clear of tanks	2	2	0

Strength Index: R

$$R = 0,01 \cdot \left[0,1 \frac{L}{\sigma} + 11,7 \left(\frac{L}{\sigma} \right)^2 \right]$$

Dimana : $\sigma = \left(\frac{L}{\sigma} \right)^2$

$$\sigma = 0,0017 \frac{L}{\sigma} \text{ in N/mm}$$

L = length of panel, in meters

σ = equivalent section modulus, in cm³, see Ch 3, 4.4 Thickness of sandwich panel

t_c = selected core thickness, in mm

a, b, d = see Ch 1, 7.2 Symbols

t_1 = thickness of the top bottom plating, in mm, see Figure 3.4.2 Determination of top and bottom plate thickness and core thickness

k = see Pt 3, Ch 2, 1.2 Steel of the Rules for Ship

t_{rules} = 10 mm existing

t_c = 15 mm

t_{aR} = 1 mm

t_{a1} = 0 mm

t_{a2} = 1 mm

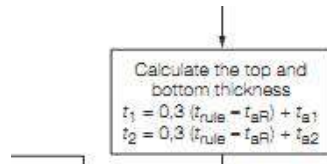
a = 2400 mm (length of the panel at longest edge, in mm)

b = 1500 mm (breadth of the panel at shortest edge, in mm)

t_1 = 2.7 mm (Thickness of the top plate, in mm)

3 mm

$$\begin{aligned}
 t_2 &= \frac{3.7 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} \quad (\text{thickness of the bottom plate, in mm}) \\
 A_R &= 1.36 \\
 P_{eq,R} &= 0.0042 \text{ N/mm}^2 \\
 Z_{Rules} &= 1E+05 \\
 l &= 240 \text{ mm} \\
 d &= 18.5 \text{ mm} \\
 k &= 1 \\
 R &= 0.106 \quad \text{oke}
 \end{aligned}$$



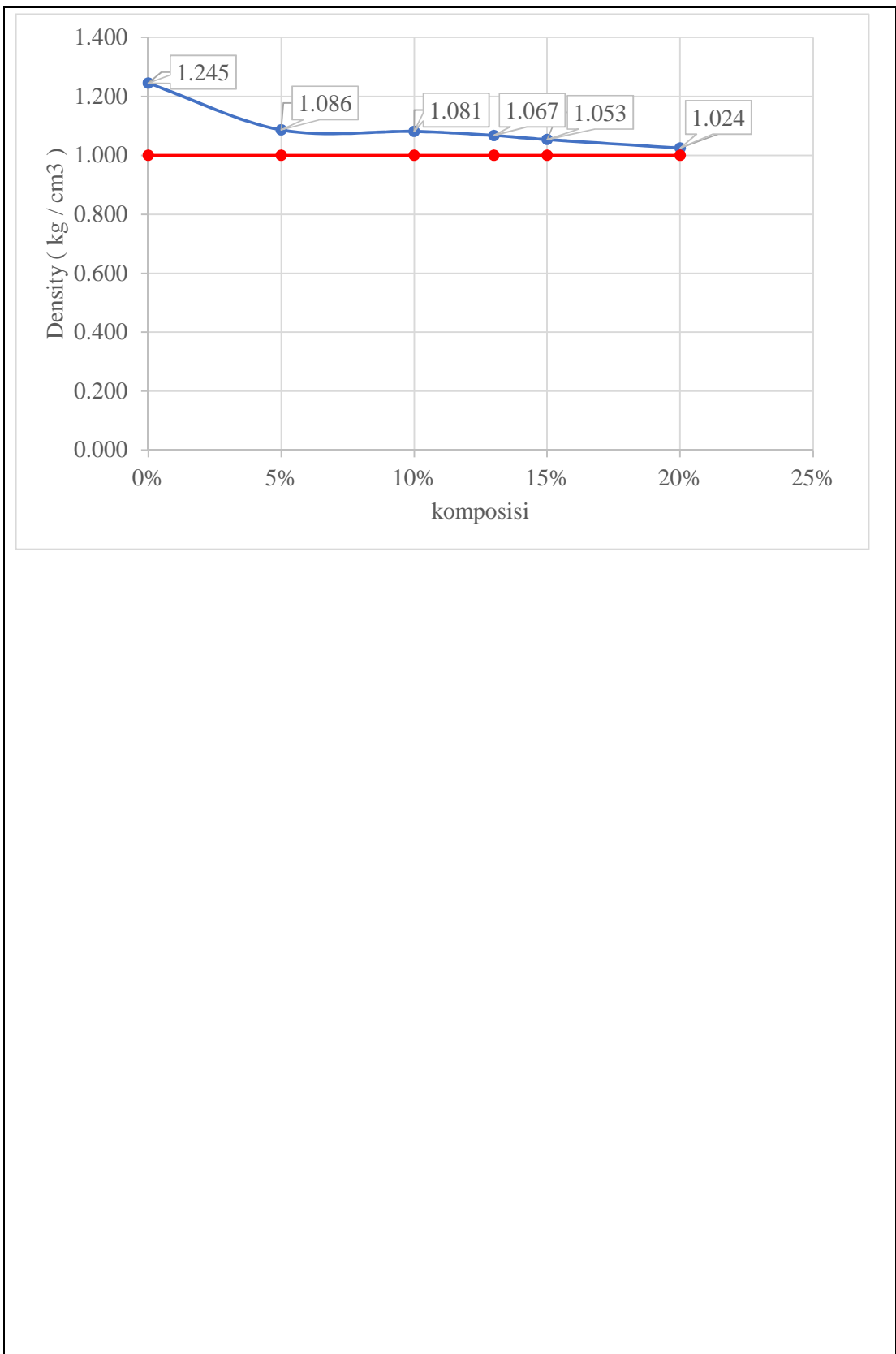
$$R = 0,01 \cdot \left[0,1 \frac{a}{b} + 11,7 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \right]$$

a = length of the panel at longest edge, in mm
 b = breadth of the panel at shortest edge, in mm
 d = $0,5(t_1 + t_2) + t_c$, in mm
 t_1 = thickness of the top plate, in mm
 t_2 = thickness of the bottom plate, in mm
 t_{a1} = thickness allowance for the top plate, in mm
 t_{a2} = thickness allowance for the bottom plate, in mm
 t_c = thickness of the core, in mm

t rules	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}	Face plate	
				t1	t2
12	2	1	1	4	4

Nama bagian	t_c (mm)	a (mm)	b (mm)	A_R	Z_{rule}	l	P_{eqR} (Mpa)	Face Plate			d (mm)	R	$R \quad l$
								$t1$	$t2$	k			
Side Shell	15	2400	1500	1.36	1E+05	240	0.004	4	4	1	19	0.09	oke
	20	2400	1500	1.36	1E+05	240	0.004	4	4	1	24	0.07	oke
	25	2400	1500	1.36	1E+05	240	0.004	4	4	1	29	0.06	oke
	30	2400	1500	1.36	1E+05	240	0.004	4	4	1	34	0.05	oke
	35	2400	1500	1.36	1E+05	240	0.004	4	4	1	39	0.04	oke

LAMPIRAN							
KALKULASI DENSITAS CORE SANDWICH PANEL							
Tanggal Pengujian		:-					
Lokasi Pengujian		:-					
Type Alat Uji		:					
Standarisasi Pengujian		: ISO 845					
Density Analysis							
Core Composition	Dimension			Volume	Mass	Density	
	P	L	T	(cm ³)	(gram)	(kg/m ³)	
Core Material 00%							
Spesimen 1	140	51	18	128520	150	1.167	Average 1.246
Spesimen 2	140	50	19.5	136500	150	1.210	
Spesimen 3	140	51	20	142800	149	1.250	
Spesimen 4	139	51	20	141780	145	1.023	
Spesimen 5	140	50	19.1	133700	150	1.122	
Core Material 05%							
Spesimen 1	140	50	19	133000	150	1.128	Average 1.086
Spesimen 2	138	50	19.5	134550	150	1.115	
Spesimen 3	140	51	20	142800	149	1.043	
Spesimen 4	139	51	20	141780	145	1.023	
Spesimen 5	140	50	19.1	133700	150	1.122	
Core Material 10%							
Spesimen 1	140	50	19.9	139300	150	1.077	Average 1.081
Spesimen 2	139	49	19.7	134177	149	1.110	
Spesimen 3	140	50	20	140000	149	1.064	
Spesimen 4	139.5	50	20	139500	150	1.075	
Spesimen 5	139	50	20	139000	150	1.079	
Core Material 13%							
Spesimen 1	139.76	50	19.4	135567	148	1.092	Average 1.067
Spesimen 2	139.8	49.94	20	139632	151	1.081	
Spesimen 3	139.86	49.73	20.3	141191	153	1.084	
Spesimen 4	139.89	49.92	19.8	138270	149	1.078	
Spesimen 5	139.89	49.92	20	139666	140	1.002	
Core Material 15%							
Spesimen 1	139.81	49	19.5	133588	141	1.055	Average 1.053
Spesimen 2	139.96	48	19.8	133018	140	1.052	
Spesimen 3	140	49.93	20	139804	141	1.009	
Spesimen 4	140	50	18	126000	138	1.095	
Spesimen 5	140	49.77	18.9	131691	139	1.055	
Core Material 20%							
Spesimen 1	149.94	49.85	19.5	145753	150	1.029	Average 1.024
Spesimen 2	149.9	50	20	149900	149	0.994	
Spesimen 3	140	49.92	19.9	139077	148	1.064	
Spesimen 4	149.82	49.77	19.7	146894	150	1.021	
Spesimen 5	149.82	49.73	20	149011	151	1.013	



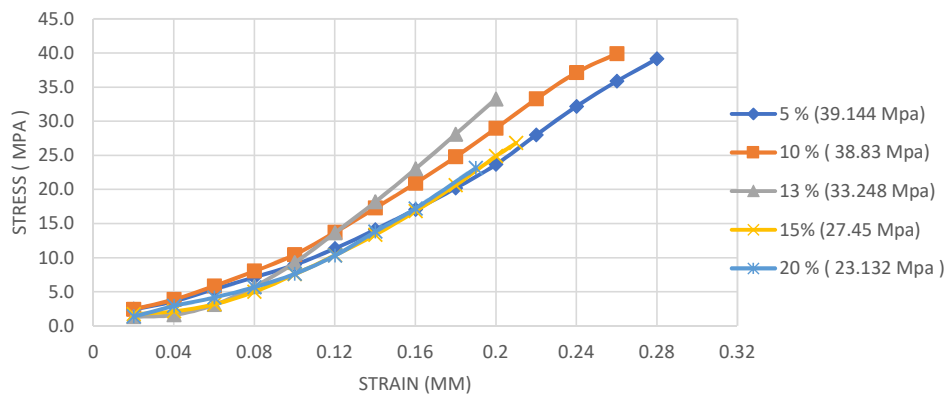
TABEL DATA HASIL PENGUJIAN TARIK CORE MATERIAL SANDWICH PANEL								
Tanggal Pengujian : -								
Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL - Tanjung Perak, Surabaya								
Type Alat Uji : UTM								
Standarisasi Pengujian : ASTM D638								
Tensile Test								
Spesimen	[a]	[b]	[S _o]	max disp	Elongation	Stress	max strain	modulus
	(mm)	(mm)	(mm)		(%)	(Mpa)		(Mpa)
core material 0 %								
Spesimen 1	13.78	19.01	261.958	13.01	0.260	54.781	26.38	350.00
Spesimen 2	13.6	18.83	256.088	13.03	0.261	55.650	27.41	295.00
Spesimen 3	13.57	18.94	257.016	13.02	0.260	32.112	30.85	217.67
Spesimen 4	13.68	19.23	263.066	13.01	0.260	57.628	29.88	340.625
Spesimen 5	14.64	19.09	279.478	13	0.260	52.285	31.16	282.375
core material 5 %								
Spesimen 1	13.78	19.01	261.958	13.01	0.260	38.18	26.38	240.000
Spesimen 2	13.6	18.83	256.088	13.03	0.261	39.29	27.41	210.572
Spesimen 3	13.57	18.94	257.016	13.02	0.260	38.28	30.85	200.000
Spesimen 4	13.68	19.23	263.066	13.01	0.260	41.13	29.88	200.519
Spesimen 5	14.64	19.09	279.478	13	0.260	38.84	31.16	350.000
core material 10 %								
Spesimen 1	14.27	19.75	281.833	12.96	0.259	36.06	24.96	302.573
Spesimen 2	13.82	19.38	267.832	12.93	0.259	39.91	24.76	333.978
Spesimen 3	13.78	19.84	273.395	12.95	0.259	38.66	23.53	333.308
Spesimen 4	13.6	19.89	270.504	12.98	0.260	40.41	32.76	295.189
Spesimen 5	14.8	19.33	286.084	12.97	0.259	39.14	29.58	307.339
core material 13 %								
Spesimen 1	14.13	19.15	270.590	11.5	0.230	33.12	30.33	275.000
Spesimen 2	13.7	19.27	263.999	11.5	0.230	33.3	27.72	333.333
Spesimen 3	13.98	19.84	277.363	11.3	0.226	32.71	28.21	285.714
Spesimen 4	14.6	19.7	287.620	11.4	0.228	34.33	39.04	250.000
Spesimen 5	14.03	19.6	274.988	11.2	0.224	32.78	33.83	250.000
core material 15 %								
Spesimen 1	14.23	19.68	280.046	10.02	0.200	27.5	33.83	280.000
Spesimen 2	13.86	19.91	275.953	10.03	0.201	28.26	25.36	220.327
Spesimen 3	14.01	19.35	271.094	10.07	0.201	27.58	20.93	233.330
Spesimen 4			0.000	10.01	0.200	27.55	24.96	251.179
Spesimen 5	14.11	19.34	272.887	10	0.200	27.21	35.21	250.131
core material 20 %								
Spesimen 1	14.8	19.09	282.532	8	0.160	19.56	21.69	200.000
Spesimen 2	14	18.9	264.600	8.66	0.173	23.26	19.33	250.000
Spesimen 3	14.63	18.81	275.190	8.5	0.170	26.58	21.06	180.742
Spesimen 4	14.36	18.6	267.096	8.4	0.168	23.08	17.38	203.13.9
Spesimen 5	14.47	18.65	269.866	8.52	0.170	23.18	19.05	195.213

Acceptance Criteria Material, With Standardization ASTM D63

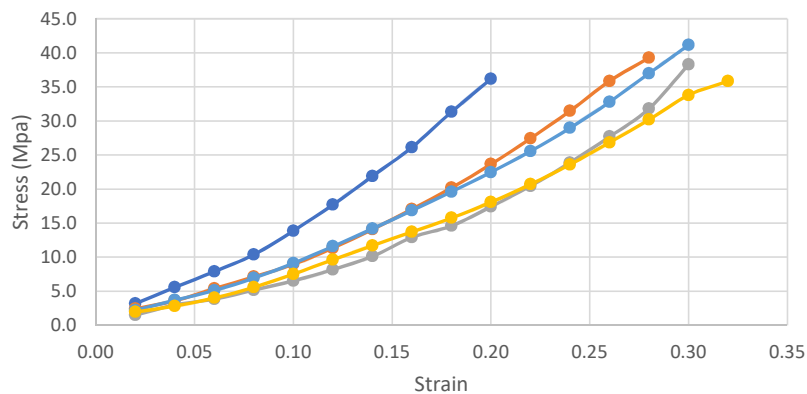
Result Type	Classification Rule of Ship LR
Tensile Strength	20 Mpa at RT
Tensile Modulus	5 Mpa at RT
Elongation at Break	Min. 10% - 20% at RT
Shear Modulus	Min. 120 Mpa
Density	1000 kg/m ³ at RT

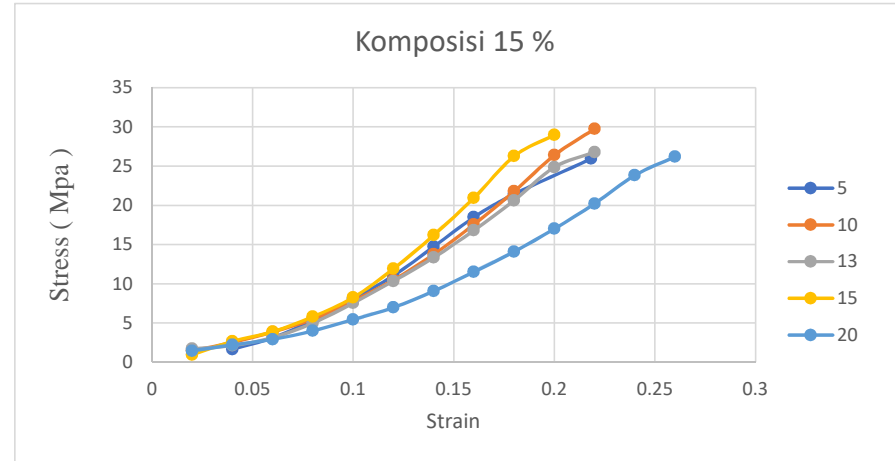
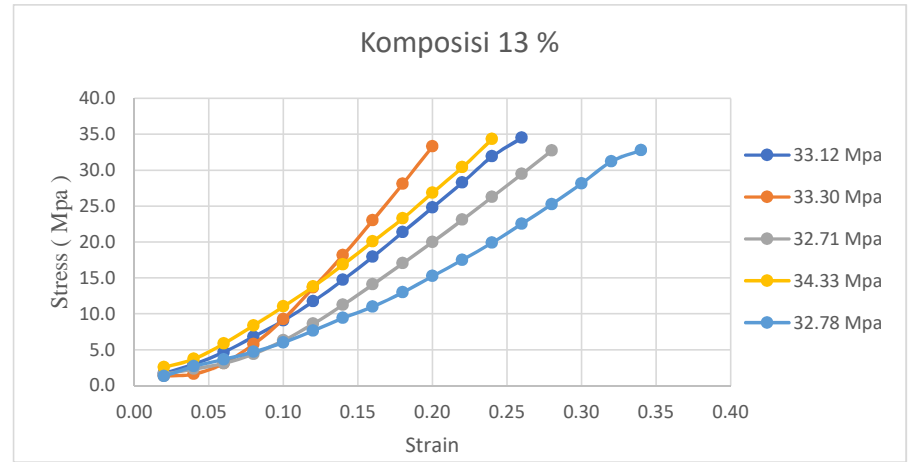
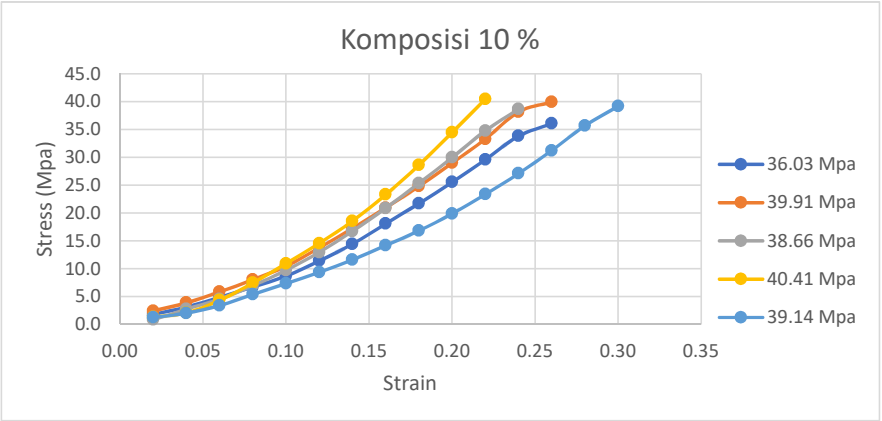
Result Test

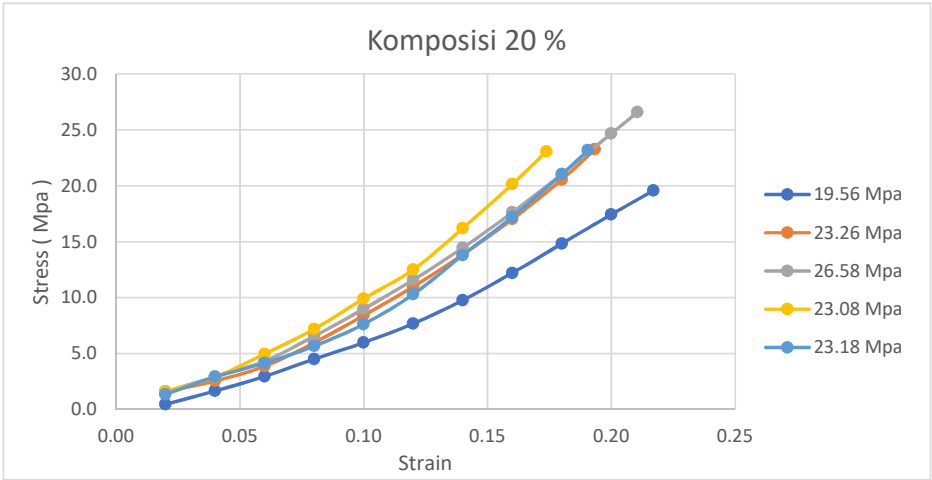
Result Type	Material Core					
	0	1	2	3	4	5
Tensile Strength	50.491 Mpa	39.144 Mpa	38.836 Mpa	33.248 Mpa	27.450 Mpa	23.132 Mpa
Tensile Modulus	297.13 Mpa	240.22 Mpa	314.48 Mpa	278.81 Mpa	246.99 Mpa	206.49 Mpa
Elongation at Break	0.261 %	0.260 %	0.259 %	0.228 %	0.201 %	0.168 %
Density	1.246 Kg/m ³	1.086 Kg/m ³	1.081 Kg/m ³	1.067 Kg/m ³	1.053 Kg/m ³	1.024 Kg/m ³



Komposisi 5 %





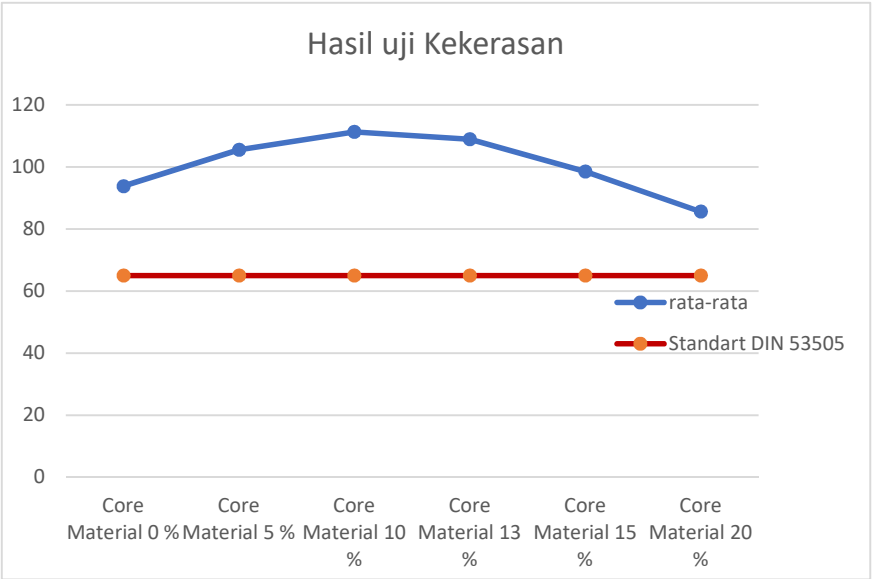


LAMPIRAN
PENGUJIAN KEKERASAN

Tanggal Pengujian : -
Lokasi Pengujian : -
Type Alat Uji : Shore D
Standarisasi Pengujian : DIN 53505

Uji kekerasan Shore D 65 RT

Core Composition	Panjang (mm)	lebar (mm)	Tinggi (mm)	Nilai kekerasan	rata-rata
Core Material 0 %					
Spesimen 1	50	20	15	92.5	93.8
Spesimen 2	50	20	15	95.5	
Spesimen 3	50	20	15	93	
Spesimen 4	50	20	15	96	
Spesimen 5	50	20	15	92	
Core Material 5 %					
Spesimen 1	50	20	15	107	105.5
Spesimen 2	50	20	15	105	
Spesimen 3	50	20	15	104.5	
Spesimen 4	50	20	15	105	
Spesimen 5	50	20	15	106	
Core Material 10 %					
Spesimen 1	50	20	15	110	111.3
Spesimen 2	50	20	15	106	
Spesimen 3	50	20	15	114	
Spesimen 4	50	20	15	112	
Spesimen 5	50	20	15	114.5	
Core Material 13 %					
Spesimen 1	50	20	15	105	108.9
Spesimen 2	50	20	15	110	
Spesimen 3	50	20	15	111	
Spesimen 4	50	20	15	107	
Spesimen 5	50	20	15	111.5	
Core Material 15 %					
Spesimen 1	50	20	15	96.5	98.5
Spesimen 2	50	20	15	97	
Spesimen 3	50	20	15	96	
Spesimen 4	50	20	15	101	
Spesimen 5	50	20	15	102	
Core Material 20 %					
Spesimen 1	50	20	15	89	85.6
Spesimen 2	50	20	15	85	
Spesimen 3	50	20	15	87	
Spesimen 4	50	20	15	80	
Spesimen 5	50	20	15	87	



LAMPIRAN
PENGUJIAN TEKAN

Tanggal Pengujian : 17 mei 2018
 Lokasi Pengujian : Teknik Sipil
 Type Alat Uji : Digital Compression Machine
 Standarisasi Pengujian : ASTM D695

Core Composition	Lo	d	Luas cm ²	Volume cm ³	Gaya kN	Stress
Core Material 5 %						
Spesimen 1	26.95	15.9	198.456	5348.39	15	75.584
Spesimen 2	26.61	15.9	198.456	5280.91	15	75.584
Spesimen 3	26.8	15.9	198.456	5318.62	14	70.545
Spesimen 4	26.69	15.9	198.456	5296.79	14	70.545
Spesimen 5	26.78	15.9	198.456	5314.65	15	75.584
Core Material 10 %						
Spesimen 1	26.03	15.9	198.456	5165.81	12	60.467
Spesimen 2	27.2	15.9	198.456	5398	12	60.467
Spesimen 3	26.6	15.9	198.456	5278.93	11	55.428
Spesimen 4	27.2	15.9	198.456	5398	11	55.428
Spesimen 5	26.9	15.9	198.456	5338.46	12	60.467
Core Material 13 %						
Spesimen 1	26.8	15.9	198.456	5318.62	10	50.389
Spesimen 2	27.8	15.9	198.456	5517.07	10	50.389
Spesimen 3	26.1	15.9	198.456	5179.7	11	55.428
Spesimen 4	26.7	15.9	198.456	5298.77	11	55.428
Spesimen 5	26.8	15.9	198.456	5318.62	10	50.389

73.568

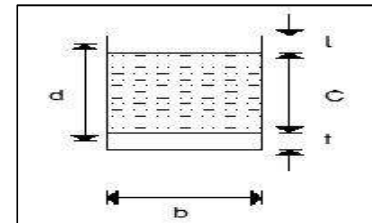
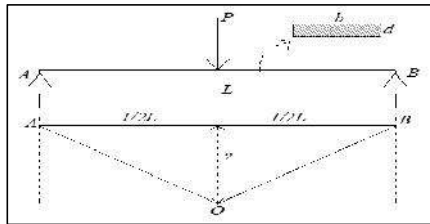
58.451

52.405

TABEL DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL

Hari Pengujian : -
 Tanggal Pengujian : -
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL - Tanjung Perak, Surabaya
 Type Alat Uji : UTM

Dimensi Spesimen Sandwich Panel



Flexure Test														
Keterangan	Dimensional					Facing Plate	P			D		U	R	G
Spesimen	[b]	[t]	[c]	[d]	[L]	[E]		[P/(d+c)b]	[PL/2t(d+c)b]	[E(d ³ -c ³)b/12]		[PL/4(-PL ³ /48D)]	[3PL/2bd ²]	[4c U/(d+c) ² b]
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(Mpa)	(N)	(Mpa)	(Mpa)	(N-mm ²)	(mm)	(N)		(Mpa)
4 mm														
Core material 10%														
Spesimen 1	75	22	15	37.00	200	200000	15118.5	3.88	17.62	59097500000.0	2.100	367424.25	29.45	108.71
Spesimen 2	75	22	15	37.00	200	200000	35937.5	9.21	41.89	59097500000.0	4.500	408506.10	70.00	120.86
Spesimen 3	75	22	15	37.00	200	200000	40678.1	10.43	47.41	59097500000.0	5.000	416333.38	79.24	123.18
Spesimen 4	75	22	15	37.00	200	200000	33990.6	8.72	39.62	59097500000.0	4.000	435314.85	66.21	128.79
Spesimen 5	75	22	15	37.00	200	200000	32600.5	8.36	38.00	59097500000.0	4.000	417093.12	63.50	123.40
Core material 13%														
Spesimen 1	75	22	15	37.00	200	200000	59509.5	15.26	69.36	59097500000.0	8.000	379904.22	115.92	112.40
Spesimen 2	75	22	15	37.00	200	200000	30225	7.75	35.23	59097500000.0	6.000	255504.89	58.88	75.59
Spesimen 3	75	22	15	37.00	200	200000	24318.8	6.24	28.34	59097500000.0	3.230	384618.77	47.37	113.79
Spesimen 4	75	22	15	37.00	200	200000	43259.4	11.09	50.42	59097500000.0	5.800	380938.72	84.26	112.70
Spesimen 5	75	22	15	37.00	200	200000	22590.6	5.79	26.33	59097500000.0	3.003	384286.68	44.00	113.69

TABEL DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL

Hari Pengujian : -

Standarisasi Dimensional : ASTM C 393-11

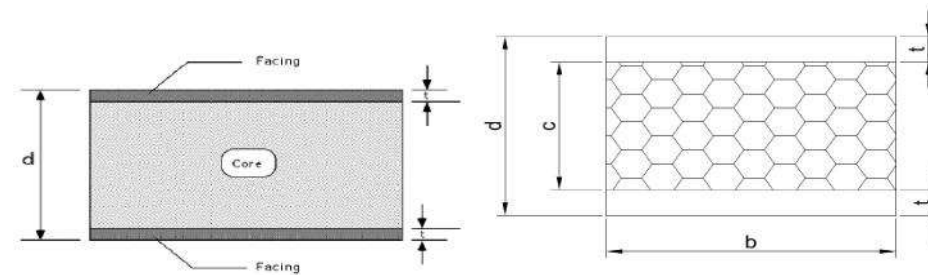
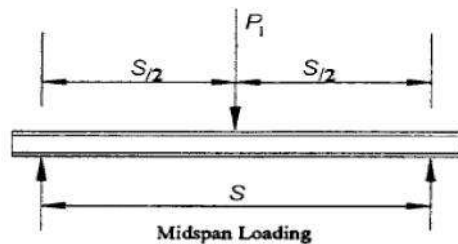
Tanggal Pengujian : -

Standarisasi Pengujian : ASTM C 393-11

Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL - Tanjung Perak, Surabaya Di Uji Oleh

: AZ TEAM

Type Alat Uji : UTM



Flexure Test

Keterangan	Dimensional					P yield	P max	Fsult	Fsyield	
Spesimen	[b]	[t]	[c]	[d]	[S]			[P max/(d+c) b]	[P yield/(d+c) b]	[P max S/2t(d+c) b]
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	N	(N)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
Core Material 10%										
Spesimen 1	75.00	4.00	15.00	23.00	162		15118.5	5.30	0.00	
Spesimen 2	75.00	4.00	15.00	23.00	162		35937.5	12.61	0.00	255.35
Spesimen 3	75.00	4.00	15.00	23.00	162		40678.1	14.27	0.00	289.03
Spesimen 4	75.00	4.00	15.00	23.00	162		33990.6	11.93	0.00	241.51
Spesimen 5	75.00	4.00	15.00	23.00	162		32600.5	11.44	0.00	231.64
Core Material 13%										
Spesimen 1	75.00	4.00	15.00	23.00	162		49509.5	17.37	0.00	351.78
Spesimen 2	75.00	4.00	15.00	23.00	162		30225	10.61	0.00	214.76
Spesimen 3	75.00	4.00	15.00	23.00	162	16728.10	24318.8	8.53	5.87	172.79
Spesimen 4	75.00	4.00	15.00	23.00	162		43259.4	15.18	0.00	307.37
Spesimen 5	75.00	4.00	15.00	23.00	162		22590.6	7.93	0.00	160.51

Material	F _{sult} (MPa)	F _{syield} (MPa)	(MPa)
Core material 10%	12.56	0.00	254.38
Core material 13%	11.92	1.17	241.44

Rekapitulasi nilai G

FACE PLATE 4 mm	G	
Core material 10%	120.986	8.119
Core material 13%	105.636	9.226

Poisson Rasio

FACE PLATE 4 mm	E [/]	G [S t / L b]	(E/ (2. G) - 1)
Core material 10%	314.48	120.986	0.300
Core material 13%	278.81	105.636	0.320



Muhammad Sidik Purwoko, adalah pria kelahiran Selatbaru yang merupakan salah satu kabupaten di Bengkalis (RIAU) pada tanggal 09 Febuari 1991. Merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan (M.Toha dan Ambar Rukmi), pendidikan dasar diselesaikan di SDN 015 yang sekarang namanya diganti menjadi SDN 047 Selatbaru yang kemudian dilanjutkan di MTsN Selatbaru dan SMAN 1 Selatbaru, setelah lulus jenjang SMA pada tahun 2009 serta dengan semangat menggapai cita-

citanya, penulis melanjutkan studinya di bangku perkuliahan tepatnya di Politeknik Negeri Bengkalis dengan mengambil Jurusan Teknik perkapalan di tempuh selama 3 tahun dan mendapatkan gelar Ahli Madya (Amd) dengan indeks prestasi 3,25, setelah lulus kemudian penulis melanjutkan study di Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi sepuluh November Surabaya (FTK ITS Surabaya) pada tahun 2013, Selama di bangku perkuliahan, penulis menggeluti bidang Sistem Permesinan dan Instalasi Perkapalan. Setelah selesai pendidikan penulis melanjutkan study di Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi sepuluh November Surabaya (FTK ITS Surabaya) pada tahun 2016 Selama di bangku perkuliahan, penulis menggeluti bidang konstruksi kapal.